

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München

1914. Heft II

Mai- bis Julisitzung.

München 1914

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften

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



Zum Problem des Euripus.

Von A. Endrös.

Mit 1 Figurentafel und 1 Kartenskizze im Text.

Vorgelegt von S. Günther in der Sitzung am 13. Juni 1914.

Einleitung.

Die unregelmäßigen Stromvorgänge an der schmalen Meerenge zwischen der Insel Euböa und dem griechischen Festlande (siehe Kartenskizze im Text S. 118) bilden ein über 2000 Jahre altes Problem der Ozeanographie. In der Literatur der Alten finden sich nur kurze und zum Teil scheinbar sich widersprechende Bemerkungen. Ausführlichere Beobachtungen besitzen wir erst aus dem Jahre 1669 vom Jesuitenpater J. P. Babin¹⁾, der sich 2 Jahre in Chalkis aufgehalten hatte. Auf Grund seines Berichtes hat Prof. F. A. Forel²⁾ im Jahre 1879 die rasch wechselnden Strömungen in Zusammenhang mit den Seiches gebracht und das Problem galt im wesentlichen als gelöst. Hiedurch wurde der griechische Seeoffizier Kapitän A. Miaulis³⁾ im Jahre 1882 zur Veröffentlichung seiner eingehenden Beobachtungen aus den Jahren 1871 und 72 veranlaßt, auf Grund deren er zu dem Ergebnis kam, daß Forel das Problem nicht gelöst habe, da er dasselbe nicht kannte und daß eine Lösung nur möglich sei, wenn man sich gleichzeitige Beobachtungen an mehreren Punkten des Talantischen und Eretrischen Euripus verschaffe, was aber nur unter Bei-

¹⁾ J. P. Babin, Phil. Trans. 1671, Vol. I, p. 592.

²⁾ F. A. Forel, Comptes rendus, Vol. 39, 1879, p. 859.

³⁾ *Ἀντ. Μιαιοῦλης, Περὶ τῆς παλιγγίας τοῦ Εὐβοίου.* Athen 1882. (29 pp. 8^o, 12 Tab. und eine Karte der Brücke bei Chalkis.)

hilfe der griechischen Regierung möglich sei. Die Ergebnisse von Miaulis unterzog hierauf Prof. O. Krümmel im Jahre 1888 einer sehr eingehenden Diskussion¹⁾ und fand Forels Vermutung bestätigt, während er Miaulis neue Beobachtungen über den anomalen Gezeitenverlauf nicht für erwiesen hielt und sich nur durch Beobachtungen mit mehreren selbstregistrierenden Apparaten zwischen den Lithaden und Stura genügenden Aufschluß versprach.

Auf Anregung von Prof. Hermann Ebert, der anlässlich einer Griechenlandreise diese merkwürdigen Strömungen an Ort und Stelle beobachten konnte, habe ich im Jahre 1906 die Periodendauern der möglichen Seichesschwingungen berechnet und zugleich auf die Kompliziertheit von Strömungen hingewiesen, welche in einem Verbindungskanal zweier unabhängig voneinander schwingenden Wasserbecken auftreten können²⁾, was auch in die neueste Auflage von Krümmels Ozeanographie Aufnahme gefunden hat³⁾. Dabei stand mir nur Krümmels Bericht über Miaulis Beobachtungen zur Verfügung. Die Originalarbeit von Miaulis, die im Buchhandel vergriffen ist, konnte ich erst jetzt erhalten⁴⁾. Eine Analyse der wertvollen Beobachtungen, wie sie besonders die Tabellen der Arbeit enthalten, ergibt nun, daß der von Miaulis als eigentliches Problem des Euripus bezeichnete anomale Gezeitenverlauf nicht nur erwiesen ist, sondern sich auch vollständig aus den vorliegenden Beobachtungen begründen läßt. Da nun gerade der Streit in dieser Sache die Ursache ist, daß das

¹⁾ O. Krümmel, Zum Problem des Euripus. Pet. Mitt. 1888, S. 331. Dort findet sich eine Übersetzung der wesentlichsten Teile der Miaulischen Arbeit.

²⁾ A. Endrös, Vergleichende Zusammenstellung der Hauptseichesperioden der bis jetzt untersuchten Seen und Anwendung auf verwandte Probleme. Pet. Mitt. 1908, Heft IV, S. 86 und 87.

³⁾ O. Krümmel, Handbuch der Ozeanographie II, 1911, S. 182.

⁴⁾ Von dem gütigen Anerbieten Herrn Prof. C. Rados in Athen, mir die Schrift aus der griechischen Nationalbibliothek zur Verfügung zu stellen, wofür auch an dieser Stelle bestens gedankt sei, brauchte ich nicht mehr Gebrauch zu machen.

Euripusproblem neuerdings in der Literatur als sehr verwickelt bezeichnet wird, obwohl gerade die Seiches- und Gezeitenforschung so große Fortschritte gemacht haben, so möchte ich es nicht unterlassen, die Ergebnisse meiner Untersuchungen der Miaulischen Beobachtungen im folgenden näher auseinanderzusetzen.

Zunächst seien die einzelnen Fragen hier zusammengestellt und zugleich die Lösungen derselben, soweit sie vorliegen, angefügt. J. P. Babin weist vor allem darauf hin, daß im Euripus der Gezeitenstrom nicht wie im Ozean bei steigendem Wasser auf das Land zu und bei fallendem vom Lande weggerichtet sei, sondern daß dort bei Wasserstand über Mittel das Wasser gegen das Ägäische Meer (gegen Süden) und bei Wasserstand unter Mittel gegen Thessalien (gegen Norden) ströme. Hiefür hat Krümmel aus den Beobachtungen von Miaulis die Erklärung gegeben; da nämlich der Gezeitenhub im Talantischen Euripus denjenigen im Eretrischen Euripus bedeutend übertrifft, so müssen sich die Gezeiten des Norderhafens in der angegebenen Weise in Strom umsetzen, so daß nach je 6 Stunden der Strom kentert. Man hätte gerade umgekehrt im Eretrischen Euripus größere Hubhöhen suchen müssen, wie sie auch Forel wirklich angenommen hatte. Das Hauptphänomen des Euripus beruht nach Babin auf einer Störung der Flutwellen und Gezeitenströmungen, welche vom 9. bis 13. und vom 21. bis 26. Tage eines synodischen Monates sich einstelle. In diesen Tagen pflege der Strom in 24 Stunden 11 bis 14- und mehrmal nach Süden zu strömen und ebenso oft wieder zurück nach Norden, während in den übrigen Tagen das Gezeitenphänomen sich ebenso regelmäßig wie im Ozean vollziehe. Zur Erklärung dieser rasch wechselnden Strömungen hat Forel Seichesschwingungen des Talantischen Euripus herangezogen, welche zur Zeit der Nipptiden die Gezeitenwelle an Höhe überragen und so den nämlichen Stromwechsel erzeugen können, nur entsprechend ihrer kürzeren Periodendauer mit viel häufigerem Wechsel. Forel hat dann die uninodale Schwingungsdauer des Talantischen Euripus zu $2\frac{1}{2}$ Stunden

berechnet und daraus eine binodale Seichesdauer von $1\frac{1}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ Stunden gefolgert, welche den häufigen Flutwechsel vollständig erklären konnte. Krümmel hat hierauf aus den Pegelablesungen des Miaulis im Norderhafen wirklich eine Schwingung von solcher Periodendauer gefunden, dabei haben sich aber auch im Süderhafen Seiches gezeigt, welche gewöhnlich viel größere Amplituden aufweisen, so daß der Stromwechsel mehr durch sie veranlaßt werden muß. Die Forderung Forels, die auch Krümmel beschäftigt hat¹⁾, es sei noch zu prüfen, ob sich die Stromrichtungen zu den Phasen der Niveauschwankungen umgekehrt verhalten zu Zeiten der normalen Flut wie zu Zeiten der gestörten Flut, ist nur aufgestellt, weil Forel die Strömungen von den Gezeiten des Süderhafens und von Seiches im Norderhafen und nur von diesen verursacht glaubte, während es sich gerade umgekehrt verhält.

Das eigentliche Problem des Euripus sieht nun Kapitän Miaulis nicht in diesen raschen, unregelmäßigen Stromänderungen, die nach seinen Ergebnissen häufig durch die Richtung und Stärke des Windes verursacht würden, sondern darin, daß sich dort das Hochwasser nicht wie im Ozean um 50 Minuten 28 Sekunden täglich verspäte, sondern durchschnittlich nur um die Hälfte, so daß in Zwischenräumen von 24 Stunden 24 Minuten zwei Hochwasser und zwei Niedrigwasser aufträten, ferner daß am 10. und 25. Tage einer Lunation eine Vertauschung der Flutstunden einträte derart, daß auf das Abendhochwasser dieser Tage kein Niedrigwasser, sondern nach Verlauf von 6 Stunden 6 Minuten wieder Hochwasser folge und so die mangelhafte Verspätung genau wieder eingebracht würde. Diese Beobachtungen hält Krümmel für nicht erwiesen, einmal weil die Gezeitenkurven infolge der ständig aufgesetzten Seiches und infolge der Ablesungen nach je einer halben Stunde keine so genaue Bestimmung der einzelnen Wellen zulasse, dann seien auch große Eintagskomponenten zu erwarten, die bei halbtägigen Beobachtungen sich nicht erkennen ließen.

¹⁾ Pet. Mitt. 1888, p. 336.

In seiner Ansicht wird Krümmel bestärkt durch den Bericht Babins, der sich als gewissenhaft erwiesen habe und durch die Angaben des amtlichen englischen Werkes, des „Mediterranean Pilot“, welche beide nichts von dieser anormalen täglichen Verspätung der Flut berichteten.

Wie wir im folgenden sehen werden, ist dieser Flutwechsel von 12 Stunden 12 Minuten und die Vertauschung der Flutstunden in den Beobachtungen von Miaulis wirklich enthalten, aber nicht aus den einzelnen Tageskurven zu messen, wie Krümmel richtig einwendet, sondern nur aus einer graphischen Darstellung der sämtlichen Pegelablesungen auf fortlaufender Zeitabszisse zu ersehen und begründet sich vollständig daraus, daß die halbtägige Mondtide nahezu die gleiche Amplitude hat wie die halbtägige Sonnentide einschließlich der Deklinationstiden. Zugleich lassen sich die Amplituden der Haupttiden angenähert schätzen. Dagegen ist die Bestimmung der Periodendauern der Seiches eine unsichere, weil die Pegelablesungen nur halbstündlich erfolgt sind und die komplizierte Gestalt der in Betracht kommenden Becken die Dauern nicht mit der erforderlichen Annäherung berechnen läßt. Doch gewähren die Beobachtungen von Miaulis in das komplizierte Strömungsproblem einen tieferen Einblick, als man bis jetzt angenommen hat. An der Hand der Niveaudifferenzen nördlich und südlich der Enge nämlich läßt sich die Anzahl, der Zeitpunkt und die Art der Stromwechsel während eines synodischen Monates ersehen, ferner erklärt sich daraus, warum die bekannten Gezeitenstörungen erst mit und nach den Nipp-tiden auftreten, nicht aber vorher, wie Forels und Krümmels Hypothese annimmt, ebenso warum Miaulis die Flutstundenvertauschung auf den 10. und 25. Montag verlegt. Endlich erkennt man die sprichwörtlich gewordene Unregelmäßigkeit der Strömungen zur Zeit der Gezeitenstörung, welche in erster Linie durch den Verlauf der Gezeiten nördlich und südlich der Enge und durch Windstau und in zweiter Linie erst durch Seiches verursacht ist, so daß aus der Anzahl der täglichen Stromwechsel sich keine Seichesperioden ableiten lassen.

Die Gezeiten des Norder- und Süderhafens von Chalkis.

Das wertvollste Beobachtungsmaterial bilden die gleichzeitigen Pegelablesungen, welche Miaulis in der Zeit vom 27. März bis 25. April 1872 halbstündlich von 6 Uhr morgens bis 6 Uhr abends im Norder- und Süderhafen von Chalkis machen ließ und in einer Tabelle (Tabelle III) ausführlich mitteilt. Da die Beobachtungen nur halbtägig gemacht sind und außerdem ein Tag, nämlich der 24. April, ganz fehlt, ist es nicht möglich, die Komponenten der Gezeitenbewegung durch harmonische Analyse zu bestimmen. Doch läßt sich der monatliche Verlauf der Tidenbewegungen und die ungefähre Größe der Haupttiden aus einer graphischen Darstellung der Pegelstände gut ermitteln. Dieselben sind auf fortlaufender Zeitabszisse $1^h = 1 \text{ mm}$ und $1 \text{ Zoll engl.} = 1 \text{ mm}$ eingetragen, wovon ich die eine Hälfte vom Norder- und Süderhafen vom 27. März bis 11. April in beiliegender Tafel Fig. 2 und Fig. 3 der Arbeit begeben möchte, da diese Kurven die vollständige Beantwortung der strittigen Fragen enthalten¹⁾.

Betrachten wir zunächst die für die ganze Erscheinung weitaus wichtigste Bewegung des Wasserstandes im Norderhafen, so fällt sofort die anormal große halbmonatliche Ungleichheit der halbtägigen Tiden in die Augen. Die Hubhöhe ist am 27. März $38\frac{1}{2} \text{ Zoll} = 96\frac{1}{2} \text{ cm}$, an welchem Tage Neumond war, und am 4. April beim 1. Viertel des Mondes unter 1 Zoll, also nahe $= 0$, wenn man von den der Kurve aufgesetzten kurzdauernden Seichesbewegungen absieht. Es müssen daher die Hauptkomponenten der Mond- und Sonnentiden nahe gleiche Amplitude haben und die Gezeitenkurve hat das charakteristische Aussehen einer sogenannten Schwebung, wie

¹⁾ Die Beobachtungen erweisen sich, wie viele Einzelheiten zeigen, als vollständig verlässig. In den Pegelablesungen des Norderhafens nur ist ein Druckfehler enthalten: Am 20. Montag ist um $3^h 30^{\text{min}}$ 1.11 und um 4^h 2.1 zu setzen, statt umgekehrt. Vielleicht enthält auch am 14. Montag die Tabelle des Süderhafens Druckfehler, da unbegründet große Schwankungen vorkommen.

man sie in der Akustik bei zwei einander nahekommenden Tönen von gleicher Amplitude erhält. Da die Gezeitenkurve unvollständig ist, füge ich eine künstliche Kurve auf gleicher Zeitabszisse darüber an, welche aus 2 Schwingungen mit der Periodendauer von 12,42 Stunden und 12,00 Stunden und gleichen Doppelamplituden von je 20 mm zusammengesetzt ist (siehe Fig. 1 der Tafel).

Ein Vergleich der beobachteten und künstlichen Kurve zeigt sofort den ganz parallelen Gang beider und besonders auch die gleichen Hoch- und Niedrigwasserzeiten. Die wesentlichste Eigenschaft der graphisch dargestellten Schwebung von 2 Schwingungen mit gleicher Amplitude ist das Auftreten einer resultierenden Schwingung, welche als Periodendauer das arithmetische Mittel derjenigen der beiden Komponenten hat, also hier eine Periodendauer von $12,21 \text{ Stunden} = 12 \text{ Stunden } 12 \text{ Minuten}$ statt $12 \text{ Stunden } 24 \text{ Minuten}$ wie bei normalem Gezeitenverlauf. Eine weitere Eigenschaft einer solchen Interferenzkurve besteht darin, daß in der Mitte des Kurvenbildes, hier nach $14\frac{1}{2}$ Schwingungen der Mondtide, das sind 15 Wellen der Sonnentide, eine Zeit von einer halben Schwingungsdauer, hier 6 Stunden, nahezu Stillwasser auftritt und hierauf ein zum ersten Teil der Kurve symmetrischer beginnt. Eigentlich befinden sich in der Mitte der Interferenzkurve zwei ganz schwache Niedrigwasser, wie die künstliche Kurve ersehen läßt. Falls man das Kurvenbild verkehrt nimmt, befinden sich dort zwei ganz schwache Hochwasser. Die letztere Kurve ergeben die Gezeiten dann, wenn die Schwebung mit einem Wellental beginnt, also wenn Mond- und Sonnenanziehung bei Niedrigwasser zusammentreffen. Durch diese verkümmerte Welle in der Mitte der Schwebung wird die resultierende Welle um 6 Stunden verschoben, so daß am 1. Tage nach den Quadraturen die Zeiten für Hoch- und Niedrigwasser vertauscht sind. Von da verspätet sich dann das Hochwasser wieder pro Tag um 24 Minuten, so daß nach $14\frac{1}{2}$ Tagen, d. i. nach einem halben synodischen Monat das Hochwasser wieder auf die nämliche Uhrzeit fällt. Wie aus der graphischen Darstellung er-

sichtlich ist, findet sich auch wirklich im Norderhafen am 9. Mondtage um 8^h 46^{min} a. m. Niedrigwasser, während am 7. Montag, dem Tag vor dem 1. Viertel, um 7^h 58^{min} a. m. Hochwasser ist, also nach 4 mal 12 Stunden 12 Minuten, das ist 2 Tage 48 Minuten, um 8^h 46^{min} des 9. Mondtages wieder Hochwasser treffen sollte.

Miaulis verlegt, abweichend vom obigen Ergebnis, das Ausfallen eines Niedrigwassers beziehungsweise Hochwassers auf den 9. und 24. Mondtag und die Vertauschung der Flutstunden auf den 10. und 25. Mondtag. Dies erklärt sich jedoch ungewungen daraus, daß zur Zeit der Quadraturen die Gezeiten fast ganz durch die Seiches und andere Niveauschwankungen verdeckt sind, wie Miaulis selbst auch hervorhebt, und erst am 10. und 25. Mondtage wieder Hubhöhen von 15 Zoll erreichen und diejenigen der Seiches um das Doppelte übertreffen. Diese Vertauschung kann daher erst an den genannten Tagen sicher beobachtet werden, obwohl sie bereits unmittelbar nach den Quadraturen eintritt. Sind aber die Seichesamplituden nur klein, wie das am 19. April, dem 23. Mondtage, der Fall ist, so muß die Vertauschung der Flutstunden schon an diesem Tage zu beobachten sein. Für diesen Tag hat nun wirklich Miaulis die Vertauschung beobachtet, wie aus der Tabelle 8 der Schrift zu ersehen ist, welche nähere Beobachtungen allein für diesen Tag enthält. Dort ist um 6^h 30^{min} a. m. Niedrigwasser und um 2^h 00^{min} p. m. Hochwasser notiert, während nach der Tabelle 2 seiner Schrift die Zeiten noch nicht vertauscht sein sollten, also um 2^h 28^{min} p. m. Niedrigwasser sein sollte. Miaulis rechnete diese Abweichungen eben zu den Störungen in diesen Tagen und richtete sich mehr nach den Strömungen, wie wir später sehen werden.

Betrachten wir nun die graphische Darstellung der Pegelstände im Süderhafen (siehe Fig. 3 der Tafel), so ist nur etwa 3 Tage vor und nach den Syzygien ein Tidenhub zu erkennen, der im Maximum nur etwa 6 Zoll erreicht. Dazu ist die Kurve ganz entstellt durch die ständig vorhandenen Seiches, welche bis 8 Zoll Höhe erreichen und so die Gezeiten übertreffen.

Um die Zeit der Quadraturen ist nur eine ganztägige Gezeitenwelle von rund 3 bis 4 Zoll Hubhöhe vorhanden. Die Gezeitenbewegung vollzieht sich dort ganz unabhängig vom Norderhafen. Während sich für den Norderhafen eine Hafenzeit von $5^h 15^{\text{min}}$ ergibt, dürfte für den Süderhafen eine um $2\frac{1}{2}$ bis 3^h frühere anzunehmen sein, soweit der ausgeprägte Eintagstypus eine Bestimmung zuläßt. Die starke Einengung bei Chalkis verhindert demnach eine Fortpflanzung der Gezeitenwelle vom Talantischen Euripus nach dem Chalkidischen.

Die große Verschiedenheit der Gezeitenbewegungen zu beiden Seiten der Enge läßt sich aus einer ungefähren Angabe der Hubhöhen der Hauptkomponenten am besten erkennen, auf welche wir uns aus den schon angeführten Gründen beschränken müssen, so sehr eine exakte Analyse auch im Interesse der zur Zeit im Vordergrund stehenden Frage der Mittelmeergezeiten erwünscht wäre. Zunächst läßt sich aus dem Springtidenhub am 27. März, also der Nähe der Äquinoktien, von 96 cm und dem Nipptidenhub am 4. April von 0 cm die Doppelamplitude der Hauptmondtide, welche mit M_2 bezeichnet wird, und diejenige der Hauptsonnentide mit dem Symbol S_2 zusammen mit der Deklinationstide K_2 angenähert bestimmen. Beim Springtidenhub addieren sich die Komponenten und bei dem darauffolgenden Nipptidenhub subtrahieren sie sich; daher erhält man aus:

$$2(M_2 + S_2 + K_2) = 96 \text{ cm} \quad (27. \text{ März } 1872)$$

$$2(M_2 - (S_2 + K_2)) = 0 \quad (4. \text{ April } 1872)$$

$$2 M_2 = 48 \text{ cm und } 2(S_2 + K_2) = 48 \text{ cm.}$$

Nicht zu übersehen ist, daß die große elliptische Mondtide N_2 außer acht bleiben mußte, was die Ergebnisse der Schätzung ungenauer macht.

Nun enthält die Arbeit von Miaulis noch weitere für uns wichtige Beobachtungen des Tidenhubes im Talantischen Euripus (Tabelle 10 der Originalarbeit) und zwar von der Zeit des 7. April bis 9. September 1871. Die Angaben beziehen sich jedoch nur zum Teil auf den Norderhafen von

Chalkis, im anderen Teil abwechselnd auch auf den Hafen von Ädipsos, der am Eingange des gleichnamigen Golfes im Nordwesten des Talantischen Euripus gelegen ist. Aus diesen Beobachtungen ist zu ersehen, daß die Tidenbewegung des Norderhafens auch eine große halbjährliche Ungleichheit besitzt. Der Springtidenhub am 20. Juni 1871 betrug in Chalkis nur 27 Zoll und der darauffolgende Nipptidenhub am 27. Juni 9 Zoll. Da die K_2 -Komponente hier, zur Zeit der Solstitien, mit der S_2 -Tide entgegengesetzte Phase hat, so ergeben sich daraus zwei weitere Beziehungen zur Schätzung unserer Hauptkomponenten:

$$2(M_2 + (S_2 - K_2)) = 67 \text{ (cm)} \quad (20. \text{ Juni } 1871)$$

$$2(M_2 - (S_2 - K_2)) = 23 \text{ (cm)} \quad (27. \text{ Juni } 1871).$$

Hieraus berechnet sich $2M_2$ zu 45 cm, und $2(S_2 - K_2)$ zu 22 cm. Da $2(S_2 + K_2)$ oben 48 cm betrug, so erhalten wir $2S_2 = 35$ cm und $2K_2 = 13$ cm. Aus dem Tidenhub am 27. April 1872 und 20. Juni 1871 berechnet sich $2K_2$ zu 14,5 cm. Ich möchte daher die Komponenten, wie folgt, schätzungsweise angeben:

$$M_2 = 23 \text{ cm}; S_2 = 17 \text{ cm}; K_2 = 7 \text{ cm}.$$

Jedenfalls ist aus den ungefähren Zahlenangaben ersichtlich, daß im Talantischen Euripus die Hauptsonnenkomponente den theoretischen Wert bedeutend übersteigt, da $S_2 = 0,74 M_2$ ist, während nach der Theorie $S_2 = 0,47 M_2$ sein sollte. Ferner erreicht auch K_2 einen hohen Betrag, da $K_2 = 0,272 \cdot S_2$ sein sollte, während $K_2 = 0,41 S_2$ erreicht. Die verhältnismäßig große K_2 -Tide muß auch eine Verschiebung des Springtidenhochwassers zur Folge haben, wie die obenerwähnte Tabelle auch wirklich ersehen läßt. Ich füge in nachfolgender Zusammenstellung die Verschiebung des Hochwassers für die Syzygien in den betreffenden Monaten aus Miaulis' Tabelle 10 an, wobei ein + Zeichen eine Verspätung und ein — Zeichen eine Verfrühung bedeutet.

März	April	Mai	Juni	Juli	August	September
0 Tage	— 1	— 1	0	+ 1	+ 2	0 Tage.

Die große Deklinationstide K_2 bewirkt außerdem eine starke halbjährliche Ungleichheit in der Höhe und einen ganz anderen Verlauf der Gezeitenkurve zur Zeit der Solstitien als zur Zeit der Äquinoktien. Die beiden interferierenden Tiden haben nämlich zur Zeit der Äquinoktien ein Amplitudenverhältnis von 1:1, zur Zeit der Solstitien aber verhält sich $M_2:(S_2-K_2) = 2,3:1,0$. Der Gezeitenverlauf im Norderhafen muß daher zur Zeit der Solstitien dem normalen sich nähern, es muß Hochwasser nahezu alle 12 Stunden 24 Minuten auftreten und es kann keine Vertauschung der Flutstunden auftreten wie zur Zeit der Äquinoktien¹⁾. In diesem Umstande ist wohl eine Erklärung dafür zu erblicken, daß verschiedene Berichte über die unregelmäßigen Euripusströmungen ausdrücklich von einem normalen Verlauf der Gezeiten zur Zeit der Syzygien sprechen, wie der Bericht des J. P. Babin und die englischen Gezeitentafeln, wodurch O. Krümmel in seinem abweisenden Standpunkte gegenüber Miaulis' neuen Beobachtungen bestärkt wurde.

Miaulis, der keine Erklärung dieser Unregelmäßigkeit der Gezeiten zu geben imstande war, betont besonders, daß in Ädipsos durchaus keine Vertauschung der Flutstunden vorkäme und beruft sich dabei auf seine dort gemachten Beobachtungen. Nun fallen seine dortigen Beobachtungen alle in die Monate Mai, Juni und Juli, also in die Nähe der Solstitien, wo die Gezeiten infolge der großen K_2 -Komponente dem normalen Typus sich nähern. Dazu kommt, daß die Seiches in der Mitte des Talantischen Euripus merklich kleinere Amplituden haben müssen als an dem spitzauslaufenden Südenende, worauf ich schon an anderer Stelle hingewiesen habe²⁾, und dadurch müssen die Gezeiten auch zur Zeit der Nipptiden gut zu beobachten sein.

¹⁾ Auch hierfür enthält die Arbeit von Miaulis eine Beobachtung. In einer Fußnote Seite 10 zählt Miaulis am 27., 28. und 29. Juni 1871, dem 8., 9. und 10. Mondtage, also zur Zeit der Gezeitenstörung, nur je 2 Hochwasser und 2 Niedrigwasser in 24 Stunden.

²⁾ Pet. Mitt. 1908, Heft IV, S. 87.

Krümmel spricht auch an der ebengenannten Stelle von einer zu erwartenden großen täglichen Ungleichheit der Gezeiten des Norderhafens. Um eine ungefähre Schätzung des eintägigen Tidenhubes zu erhalten, habe ich die entsprechende, künstliche halbtägige Gezeitenwelle von dem beobachteten Wellenzug subtrahiert. Es kommt dadurch ein halber Wellenzug der eintägigen Tide zum Vorschein, deren Amplitude immer unter $3\frac{1}{2}$ Zoll bleibt (siehe Fig. 4 der Tafel). Die Beobachtungszeit liegt in der Nähe der Äquinoktien, wo die eintägige Deklinationstide P_1 entgegengesetzte Phase zu den beiden Hauptkomponenten K_1 und O hat, so daß $2(K_1 + O) = 5$ Zoll sein dürfte. Wir haben demnach im Talantischen Euripus ausgesprochenen Halbtagestypus der Gezeiten; denn

$$(K_1 + O_1) : (M_2 + S_2) = 0,15,$$

also kleiner 0,25.

Während sich im Norderhafen bei der deutlichen Gezeitenbewegung die Hubhöhen der Hauptkomponenten noch schätzen lassen, ist es im Süderhafen, wo die Gezeitenbewegung nur klein ist und dazu durch Seichesbewegungen fast ganz verdeckt wird, vollständig unmöglich, aus halbtägigen Beobachtungen die einzelnen Komponenten auch nur angenähert anzugeben. Wie wir oben schon erwähnt haben, ist ein Gezeitenhub von etwa 7 Zoll an den Syzygien zu messen und weiterhin noch ersichtlich, daß die Kurve bei den Quadraturen nur Eintagsgezeiten aufweist, wonach also auch im Süderhafen M_2 nahezu gleich $S_2 + K_2$ sein muß. Bei der Bestimmung der Flutkonstanten des Süderhafens kommt uns der Umstand zugute, daß von der nahen Station Isthmia, am Ende des Saronischen Golfes, in Luftlinie nur 100 km entfernt, eine Bestimmung der harmonischen Konstanten bereits vorliegt, die wir G. Wegemann¹⁾ verdanken. Obwohl man im Mittelländischen Meere nach den vorliegenden Ergebnissen schon bei geringeren Entfernungen mit einer merklichen Änderung der Konstanten

¹⁾ G. Wegemann, Beiträge zu den Gezeiten des Mittelländischen Meeres. Ann. d. Hydr. u. Marit. Met., August 1907.

rechnen muß, so dürften doch für hier keine merklichen Änderungen zu erwarten sein. Beide Punkte liegen am Ende zweier Buchten, Isthmia am Ende des Saronischen Golfes, Chalkis-Süd am Ende des Golfes von Petalia, welche an der gleichen Stelle in das Ägäische Meer münden und welche die Gezeitenwellen gemäß der Länge und Tiefe der Buchten in der gleichen Zeit durchlaufen. Die Konstanten für Isthmia sind nach Wegemann:

Harmonische Konstanten von Isthmia nach G. Wegemann.

Halbtagestiden		Eintagestiden	
$M_2 = 16,88$ mm	$z = 69,1^\circ$	$K_1 = 43,49$ mm	$z = 24,2^\circ$
$S_2 = 14,40$ "	$z = 80,2^\circ$	$O_1 = 13,79$ "	$z = 308,4^\circ$
$N_2 = 2,80$ "	$z = 93,4$	$P_1 = 14,4$ "	$z = 24,2^\circ$
$K_2 = 3,86$ "	$z = 80,2^\circ$	$S_1 = 24,3$ "	$z = 194,4^\circ$

Der Gezeitenhub kann demnach in Isthmia im Maximum 260 mm betragen. Im Süderhafen haben wir oben 180 mm als größten Hub gemessen und zwar zur Zeit der Äquinoktien, wo die eintägige Deklinationstide, die in Isthmia 30 mm Hubhöhe hat, sich subtrahiert. Berücksichtigt man noch, daß die meteorologische Komponente S_1 sich in den Mittelmeeren nicht als Konstante erwiesen hat, so stimmen die gesamten Hubhöhen befriedigend überein. Auch der Umstand, daß M_2 nahezu gleich $S_2 + K_2$ ist wie in Chalkis-Süd, spricht für keine merkliche Verschiedenheit der Gezeiten an beiden Küstenpunkten.

Vergleichen wir nun die einzelnen Komponenten der Gezeiten, wie sie nördlich und südlich der Enge bei Chalkis sich ungefähr angeben lassen, so erhalten wir folgende Tabelle:

Tiden	Norderhafen	Süderhafen	Verhältnis
M_2	230	16,88	13,5 : 1
S_2	170	14,44	11,8 : 1
K_2	70	(3,9)	(18 : 1)
N_2	(?)	2,8	—
$K_1 + O_1$	60	57	1 : 1

Hieraus ist die große Verschiedenheit der Gezeitenbewegung an 2 so nahe nebeneinanderliegenden Punkten, wie es der Norder- und Süderhafen von Chalkis sind, deutlich zu ersehen. Die Hubhöhen der Halbtagestiden sind nördlich rund 13 mal so groß wie südlich, während die Eintagestiden nahezu gleiche Amplituden haben. Daraus ergibt sich für den Norderhafen ausgesprochener Halbtagestypus, da $(K_1 + O) : (S_2 + M_2)$ kleiner 0,25, nämlich 0,15 ist, und für den Süderhafen ausgesprochener Eintagestypus mit $(K_1 + O) : (S_2 + M_2)$ größer 1,25, nämlich $\approx 1,87$. An beiden Punkten haben wir dagegen eine große halbmonatliche Ungleichheit der Halbtagestiden, weil $S_2 + K_2 = M_2$ ist. Ferner ist beidesmal die S_2 -Komponente groß gegen die M_2 -Tide und zwar $S_2 = 0,74 M_2$, während die Theorie $S_2 = 0,47 M_2$ voraussetzt. Die Abweichung des Verhältnisses von K_2 nördlich und südlich, nach obiger Tabelle 18:1, dürfte nicht vorhanden sein, weil K_2 in Isthmia nicht durch Analyse gefunden ist, sondern für dieselbe der theoretische Wert $K_2 = 0,272 S_2$ angenommen ist. Ich glaube sogar, daß wir umgekehrt aus dem Ergebnis für die übrigen Halbtagestiden von Isthmia und Chalkis-Nord auf einen merklich größeren Wert dafür auch in Isthmia schließen dürfen und zwar etwa 6 mm gegen 3,8, wie ihn die Rechnung ergibt. In gleicher Weise müssen wir dann schließen, daß auch N_2 im Norderhafen mit etwa 60 mm Hubhöhe auftritt und zum Teil in M_2 enthalten ist, das etwas zu groß sein dürfte.

Die Seiches im Norder- und Süderhafen von Chalkis.

Die Pegelablesungen an beiden Punkten nördlich und südlich der Meerenge bei Chalkis weisen, wie ein Blick auf die graphische Darstellung zeigt, ständig Schwankungen kürzerer Dauer auf, in denen Seiches der in Betracht kommenden Buchten gesucht werden müssen, die Krümmel schon eingehend diskutiert hat. Es ist das Verdienst Forels, das Euripusproblem mit den Seiches in Zusammenhang gebracht und damit einen wesentlichen Teil der Frage gelöst zu haben. Miaulis' voll-

ständig ablehnender Standpunkt gegenüber dieser Lösung Forels erklärt sich einmal daraus, daß Forel die Gezeiten in den Süderhafen verlegte und das Hauptproblem der anormalen Gezeiten nicht kannte. Dazu kommt, daß Miaulis nicht die regelmäßigen Flutwechsel und Strömungen von kurzer Periodendauer beobachten konnte, wie sie die Forelsche Hypothese annahm, sondern daß sich diese sehr unregelmäßig und weniger zahlreich erwiesen. Endlich konnte Miaulis die vermuteten Seiches in Ädipsos, im Nordosten des Talantischen Euripus, gar nicht auffinden. Wie wir später sehen werden, treffen die Beobachtungen von Miaulis alle wirklich zu, sprechen aber nicht gegen das Vorkommen von Seiches, sondern lassen nur erkennen, daß die Erscheinungen viel komplizierterer Art sind, als man zuerst vermutete.

Will man nun aus den vorliegenden Pegelablesungen die Periodendauern der Seiches bestimmen, so stößt das auf große Schwierigkeiten. Da nämlich die Kurven nicht durch Registrierapparate, sondern durch halbstündliche Ablesungen gewonnen sind, so können Schwingungen kürzerer Dauer ganz unbeachtet geblieben sein, dann müssen durch die Ablesungen selbst periodische Schwankungen entstanden sein, die von Seiches kürzerer Dauer herrühren, in Wirklichkeit also gar nicht vorhanden waren. Alle Schwingungen nämlich, deren Periodendauern t in dem Intervall von 30 Minuten ohne Rest enthalten sind, bleiben ganz verborgen. Für andere Periodendauern t unter 2×30 Minuten = 60 Minuten trifft die halbstündliche Ablesung immer wieder eine andere Stelle der Schwingung und zwar schreitet für jede Ablesung der Punkt auf dem Wellenzug um den Betrag $(30 - n \cdot t)$ voraus, wobei $30 - n \cdot t < \frac{t}{2}$ sein muß, oder bleibt um $(n \cdot t - 30)$ zurück, wobei ebenfalls $(n \cdot t - 30) < \frac{t}{2}$. Die Ablesung trifft den Wellenzug wieder an der nämlichen Stelle nach so vielen Ablesungen als die genannte Differenz in t enthalten ist. Diese falsche Periodendauer T bestimmt sich sonach aus folgenden 3 Gleichungen:

Ist

$$t < 60 \text{ Minuten, so ist } T = \frac{t \cdot 30}{t - 30} \text{ Minuten}$$

$$> 30$$

$$t < 30 \text{ und } (30 - nt) \leq \frac{t}{2}, \text{ so ist } T = \frac{t \cdot 30}{30 - nt} \text{ Minuten}$$

$$t < 30 \text{ und } (nt - 30) \leq \frac{t}{2}, \text{ so ist } T = \frac{t \cdot 30}{n \cdot t - 30} \text{ Minuten.}$$

Aus diesen 3 Gleichungen ist leicht zu ersehen, daß irgend eine gemessene Periodendauer T , die auch selbst wirklich in der Natur vorhanden sein kann, zugleich durch 5 andere Schwingungen zwischen 60 und 10 Minuten Periodendauer infolge der Ablesung des Wasserstandes in Intervallen von 30 Minuten im Limnogramme auftreten kann. Dabei bleiben alle Schwingungen unter 10 Minuten unberücksichtigt. Die Funktion T durchläuft alle Werte von 60 bis ∞ , wenn t abnimmt von 60 bis 30, und wieder umgekehrt alle Werte von ∞ bis 60, wenn t abnimmt von 30 bis 20. Dies wiederholt sich, wenn t die Werte von 20 bis 15 und dann von 15 bis 12 annimmt usw.

Speziell müssen bei den folgenden unter T angegebenen Periodendauern, wenn sie im Limnogramme gefunden werden, die unter t_1, t_2, t_3 bis t_6 angegebenen Periodendauern als in der Natur vorhanden in Betracht gezogen werden.

T	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
60	60	60	20	20	12	12
75	75	50	21,4	18,75	12,5	11,5
90	90	45	22,5	18	12,8	11,2
120	120	40	24	17,1	13,3	11,0
150	150	37,5	25	16,7	13,6	10,8
180	180	36	25,7	16,4	13,8	10,6
240	240	34,3	26,7	16	14,1	10,4
480	480	32	28,2	15,5	14,5	10,2
∞	∞	30	30	15	15	10

Berücksichtigt man noch, daß die Ablesungen nicht genau alle 30 Minuten gemacht worden sind, sondern das eine Mal einige Minuten früher, das andere Mal später, so muß man mit Störungen im Linnogramme rechnen, die dasselbe zur Messung ganz unbrauchbar machen, besonders wenn die gerade auftretende Schwingung t eine größere Amplitude hatte. Da nun noch die Seichesforschung in den Seen und den Buchten der Meere ergeben hat, daß selten eine Schwingung allein auftritt, sondern sich gewöhnlich mehrere Schwingungen von verschiedener Periodendauer überlagern, so kann man die große Unregelmäßigkeit der Linnogramme begreifen, wie sie die Miaulischen Beobachtungen ergeben und auf die Krümmel schon aufmerksam gemacht hat. Unter diesen Umständen ist eine exakte Analyse der Kurven durch Chrystals Restmethode ganz unmöglich¹⁾, es lassen sich nur die einzelnen Schwingungen, die innerhalb einer bestimmten Zeit ununterbrochen auftreten, zählen und dann eine ungefähre Dauer auf etwa 5 Minuten angeben. Da die Gezeitenbewegung des Norderhafens die Seiches gewöhnlich ganz verdeckt, so konnten die Kurven nur vermessen werden, nachdem die Gezeitenbewegung durch Subtraktion der künstlichen Kurve eliminiert worden war. 2 Tagesdiagramme dieser Restkurven teile ich in Fig. 5 und 6 der Tafel mit. Die auf diese Weise erhaltenen Periodendauern sind im folgenden zusammengestellt, wobei unter „ T “ die gemessene Dauer in Minuten, unter „ n “ die Gesamtzahl der gezählten Schwingungen, unter „ ν “ die größte Anzahl Wellen einer Reihe und unter „ m “ die Anzahl der gemessenen Reihen steht. Daneben füge ich die Schwingungen an, wie sie Krümmel gefunden hat.

¹⁾ G. Chrystal, An Investigation of the Seiches of Loch Earn. Trans. R. Soc. Edinburgh 1908, Bd. 46, III, Nr. 20, p. 382.

Periodendauern der Diagramme des Norderhafens.

a) Meine Messungen				b) Krümmels Messungen			
T in Minuten	n	r	m	T in Minuten	n	r	m
65	28	6	7	80	27	—	3 (+ 1)
95	37	7	8	90	32	—	8 (+ 2)
110	3	3	1	103	7	—	1 (+ 2)
180	6	3	3	120	12	—	2 (+ 1)
200	14	3	5	142	1	—	0 (+ 3)
480	3	1	3	180	20	—	5 (+ 1)

Periodendauern der Diagramme des Süderhafens.

60	6	4	2	72	10	—	0 (+ 1)
75	11	6	2	—	—	—	—
80	5	3	2	80	27	—	3 (+ 1)
90	20	5	5	90	72	—	9 (+ 4)
96	5	3	2	—	—	—	—
105	15	5	4	103	49	—	7 (+ 3)
115	8	4	2	—	—	—	—
120	28	5	9	120	18	—	3 (+ 2)
175	3	3	1	142	5	—	0 (+ 2)
210	4	2	2	—	—	—	—
240	2	2	1	—	—	—	—
300	7	2	4	—	—	—	—
480	2	1	2	—	—	—	—

Wenn die vorliegenden Diagramme durch Registrierapparate erhalten worden wären, so dürften auch die selten und in kürzeren Reihen auftretenden Schwingungen als wirkliche Seiches angesehen werden. Bei der im vorausgehenden besprochenen Unsicherheit, welche halbstündliche Ablesungen verursachen, können wir aber nur die häufiger auftretenden Periodendauern in Betracht ziehen. Die im Norderhafen häufiger gefundenen Periodendauern sind demnach:

480 Min., 200 Min., 95 Min., 65 Min.

Die im Süderhafen häufig auftretenden Schwankungen haben folgende Periodendauern:

300 Min., 120 Min., 105 Min., 90 Min., 75 Min.

Ein Vergleich mit den von Krümmel gefundenen Dauern zeigt eine weniger gute Übereinstimmung im Norderhafen als im Süderhafen. Während im Süderhafen Krümmel ebenfalls Schwingungen von 120 Minuten, 103 Minuten und 90 Minuten am häufigsten findet, kommen im Norderhafen nur diejenigen von 90 Minuten und 180 Minuten den oben gefundenen nahe. Ein Grund hierfür dürfte darin zu suchen sein, daß Krümmel die Schwingungen im Norderhafen aus den Kurven selbst bestimmt hat, während ich die die Schwingungen gewöhnlich ganz verdeckenden Gezeitenbewegungen durch Subtraktion eliminiert habe, wodurch die Schwingungen selbst genauer gemessen werden konnten und außerdem auch solche Kurven herangezogen werden konnten, in denen die Seiches ganz verdeckt waren. Ferner zählte Krümmel die Schwingungen innerhalb 12 Stunden, während ich nur die Schwingungen gemessen habe, soweit sie sich deutlich zeigten. Volle 12 Stunden hindurch konnte ich keine der Schwingungen herausfinden. Krümmel bezeichnete auch selbst mehrere Messungen als unsichere, die ich unter „*m*“ in Klammern angefügt habe. Der Unterschied der häufigsten Wellenperiode des Norderhafens von 90 Minuten bei Krümmel und 95 in unserer Angabe erklärt sich befriedigend daraus, daß Krümmel 8 ganze Wellen in 12 Stunden zählte, während ich nur die sicheren Wellen gemessen habe. In gleicher Weise dürfte sich auch die Abweichung der Perioden von 200 Minuten und 180 Minuten ergeben.

Mit Sicherheit kann man wohl aus den obigen Ergebnissen angeben, daß die von Krümmel als Mittel aus der Periodendauer von 90 Minuten und 103 Minuten abgeleitete häufigste Schwingung des Süderhafens von 96 Minuten nicht vorkommt, ebenso die aus den Schwingungen von 80 Minuten, die ich überhaupt nicht finden konnte, und von 90 Minuten im Norderhafen durch Mittelbildung abgeleitete von 85 Mi-

nuten. Es kommen daher auch die auf Grund dieser angenommenen Schwingungen möglichen Strömungserscheinungen nicht mehr in Betracht, wie ich sie zur Erläuterung der komplizierten Stromvorgänge an der mehrerwähnten Stelle auseinandergesetzt habe und die auch Aufnahme in Krümmels Ozeanographie gefunden haben¹⁾.

Um nun eine Entscheidung treffen zu können, welche der gefundenen Periodendauern wirklich vorhandenen Seiches zukommen, wäre eine genaue Berechnung der Periodendauern aus den Beckendimensionen notwendig. Die in Betracht kommenden Becken sind aber von komplizierter Gestalt, so daß die sogenannte Normalkurve, welche ich für beide Becken konstruiert habe, eine Anwendung der exakten Chrystalschen Theorie²⁾ unmöglich macht. Wir sind daher nur auf Annäherungsformeln angewiesen, und diese geben gerade für konvexe Becken, das sind solche, welche am Knoten eine Einengung besitzen, nur unsichere Werte.

Beginnen wir mit den im Talantischen Euripus möglichen Schwingungen, so kann nach den in der Literatur vorliegenden anderweitigen Beobachtungen der Talantische Euripus als Ganzes mit einem Knoten am Eingange des Oreoskanales schwingen. Für solche Buchten, welche durch einen engen Verbindungskanal mit dem offenen Meere in Verbindung stehen, gibt eine von den Japanern aufgestellte Formel brauchbare Werte für die Schwingungsdauer³⁾:

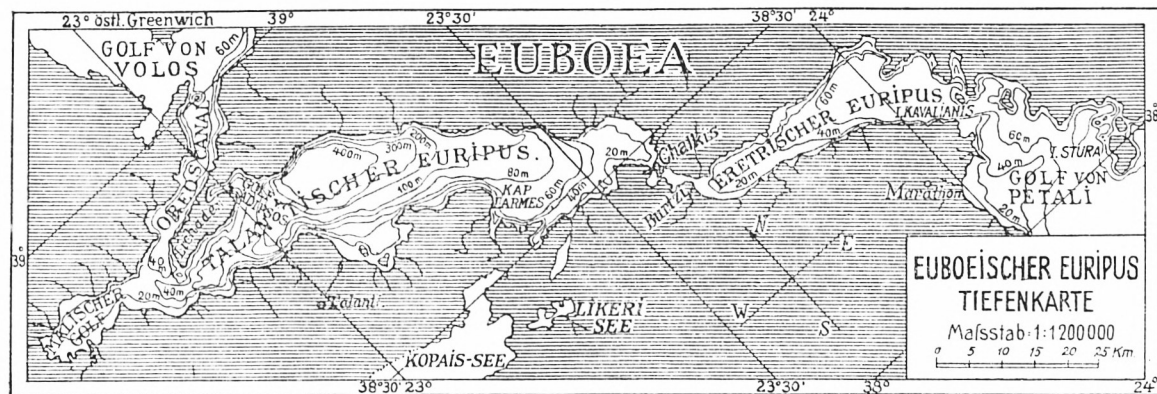
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{A \cdot l}{g \cdot b \cdot h}} \left\{ 1 + \frac{2b}{\pi \cdot l} \left(0,9228 + \log \text{nat} \frac{4L}{\pi b} \right) \right\} \dots$$

Hiebei bedeutet A die Fläche der Bucht, hier = 1265 qkm, l , b , h die Dimensionen des Verbindungskanales, hier des Oreos-

¹⁾ Krümmel, Ozeanographie II, 1911, p. 182.

²⁾ G. Chrystal, On the hydrodynamical theorie of seiches. Trans. R. Soc. Edinburgh 1905, Bd. 41, III, Nr. 25, p. 599.

³⁾ K. Honda, T. Terada, Y. Yoschida and D. Isitani, An investigation of the secondary undulations of oceanic tides. Journ. Coll. Sc., Bd. 24, Tokyo 1908, p. 66 und Krümmel, Ozeanographie, p. 163.



Die Kartenskizze ist entnommen: E. von Cholnoky, Limnologie des Plattensees. Wien 1897, S. 91.

Der Süderhafen von Chalkis — bei dem Maßstab der Karte zu sehr verkleinert — ist ein fast kreisrundes Becken von 1,8 km Durchmesser und ziemlich gleichmäßiger Tiefe von 10—11 m. Sein südlicher Ausgang hat eine Breite von nur 210 m. Der sich anschließende Chalkidische Euripus hat eine mittlere Tiefe von nur 7 m und bei Burtzi, wo er in den Eretrischen Euripus mündet, eine Breite von 570 m.

kanales mit $l = 31,4$ km, $b_m = 4,4$ km, $h_m = 50$ m und L die Länge der Bucht, hier $= 100$ km. Es berechnet sich hieraus:

$$T = 9,2 \text{ Stunden.}$$

Wenden wir zur Berechnung die Du Boyssche Formel¹⁾ an, so ergibt diese 5,1 Stunden. Berücksichtigt man noch, daß der Knoten an eine stark konvexe Stelle fällt, so ist entsprechend den Ergebnissen an ähnlich geformten Becken²⁾ dieser Wert mit 1,75 zu multiplizieren und ergibt 8,9 Stunden. Bei der Elimination der Gezeitenkurve kommt wiederholt eine Welle von dieser Periodendauer zum Vorschein, wofür ich ein Beispiel vom 29. März in Fig. 5 der Tafel beigebe. Wenn auch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen ist, daß diese Schwingung von solchen kürzerer Dauer infolge der halbstündlichen Ablesungen herrührt, so ist es doch unwahrscheinlich, da nur ein sehr regelmäßiges Auftreten dieser Schwingung mit gleichbleibenden Amplituden und ohne Phasenänderung einen so deutlichen Wellenzug von 8 Stunden Dauer erzeugen könnte.

Als weitere Schwingung ist die uninodale Seiche des Talantischen Euripus samt Malischen Golfes sehr wahrscheinlich. Die Periodendauer hat Forel³⁾ nach der Du Boysschen Formel zu 149 Minuten berechnet und bei der Gestalt des Beckens muß die Formel eine gute Annäherung geben. Es ist jedoch keine Periodendauer von dieser Größe in den Beobachtungen zu finden; auch Krümmel, der die Schwingung ausdrücklich gesucht hat, konnte nur 3 Einzelwellen finden, die er aber als unsicher zählte. Als zweitgrößte Dauer wurde eine solche von 180 Minuten, häufiger von 200 Minuten beobachtet, in welcher man die uninodale Seiche suchen muß (siehe Fig. 6 der Tafel). Es ist nach den Ergebnissen an Seen sehr wahrscheinlich, daß die starke Einengung bei den Lithaden die Knotenlinie, die nach Du Boys' Formel weiter östlich davon fallen sollte, so verschiebt, daß sie an diese Einengung zu liegen

¹⁾ Arch. Gen. 1891, Bd. 25, p. 628.

²⁾ Pet. Mitt. 1908, Heft II, p. 43.

³⁾ Forel, Le Léman II, p. 167.

kommt und dadurch die Dauer so stark verlängert wird. Das verhältnismäßig seltene Auftreten dieser Seiche ist jedenfalls durch die unsymmetrische Lage dieser Knotenlinie verschuldet. Dabei kann jedoch diese Periodendauer auch von Seiches kürzerer Dauer herrühren, wie aus der Tabelle S. 114 zu ersehen ist.

Die nächste Schwingung von 95 Minuten Periodendauer, die im Norderhafen die größten Amplituden erreicht und am häufigsten auftritt¹⁾, kann vom theoretischen Standpunkte gut als binodale Seiche zu der obigen aufgefaßt werden oder, was dasselbe ist, als uninodale des Talantischen Euripus bis zum Golf von Ädipsos, da das Verhältnis der Periodendauer von $95 : 200 = 0,48$, also kleiner als 0,50 ist, wie es der konvexen Gestalt des ganzen Beckens entspricht. Die großen Amplituden sprechen ebenfalls für diese Annahme, da die Knotenlinie etwas nördlich von Kap Larmes zu liegen kommt und der südlich gelegene Teil der schwingenden Fläche kleiner ist und spitz ausläuft, während der nördliche große Tiefen enthält.

Die Periodendauern weiterer jedenfalls noch auftretender Seiches des Norderhafens, wie die gemessene Dauer von 65 Minuten schließen läßt, lassen sich bei der komplizierten Gestalt und besonders bei der unsymmetrischen Lage der Knotenlinie auch nicht angenähert angeben.

Der südlich von Chalkis befindliche Meeresteil ist fast von noch komplizierterer Beckengestalt, da er durch 3 starke Einschnürungen in drei Teile zerfällt, den fast kreisrunden Süderhafen, den Chalkidischen Euripus nördlich der Enge bei Burtzi und den Eretrischen südlich Burtzi, der selbst wieder durch die Einengung bei der Insel Kavalianis vom Golf von Petali abgeschnürt ist (s. Kartenskizze auf S. 119). Schwingungen mit größerer Amplitude sind nur möglich, wenn der Knoten an eine der Einschnürungen fällt. Beginnen wir bei den kürzer dauernden Schwingungen, so dürfte zunächst die Querseiche des Süderhafens auftreten. Die Periodendauer derselben berechnet sich mittels der parabolischen Annäherung²⁾

¹⁾ Siehe Fig. 46, S. 181 in Krümmels Ozeanographie II, 1911.

²⁾ Pet. Mitt. 1908, Heft II, p. 44.

$$T = \frac{\pi l}{\sqrt{2gh}}, \dots$$

wobei l die größte Breite des kreisrunden Hafens = 2,88 km und h die größte Tiefe = 11 m bedeuten, zu $T = 10,2$ Minuten. Bei der geringen Breite dürfte diese Schwingung wohl selten eine Amplitude von 1 Zoll erreichen.

Als weitere Schwingung kommt die einknotige Buchtenschwingung dieses kreisrunden Beckens mit einem Knoten an der starken Einschnürung in Betracht, wofür die Du Boys'sche Formel als Periodendauer 20,5 Minuten ergibt. Infolge der starken Einschnürung am Knoten wird die Dauer stark verlängert und darf auf 20,5 Minuten $\times 1,75 = 36$ Minuten ungefähr geschätzt werden. Andere Annäherungsformeln passen hier nicht, da die Bucht nicht mit dem offenen Meere, sondern mit einem zweiten Becken in Verbindung steht, das aber selbst wieder mit einem weiteren Becken kommuniziert. Die Schwingung kann aber nur dann in größeren Reihen auftreten, wenn auch gleichzeitig ein Knoten an die Einengung von Burtzi fällt, wodurch aber die Dauer durch das schwingende Hauptbecken beeinflußt werden dürfte; in welchem Sinne ist aber nicht anzugeben. Diese Schwingung kann bei ihrer Dauer unter 60 Minuten nicht direkt beobachtet werden, sie muß vielmehr, falls sie mit größeren Amplituden und in regelmäßigen, langen Reihen auftritt, in einer der in Tabelle S. 114 angeführten Periodendauern sich zeigen. Da aber eine Änderung ihrer Dauer von nur wenigen Minuten bedeutende Änderungen der falschen Periodendauer verursacht (vgl. Tabelle S. 114), so ist diese letztere auch aus den beobachteten Dauern nicht herauszufinden.

Eine weitere Buchtenschwingung muß ihren Knoten an der Einengung bei Burtzi haben. Die Periodendauer berechnet sich nach Du Boys zu 65 Minuten und wird durch die Einschnürung am Knoten, wenn auch nicht so stark, wie die vorausbesprochene Seichesdauer, so doch etwa auf 90 Minuten verlängert werden, also ungefähr um $\frac{1}{3}$ der Dauer nach

Du Boys. In ihr darf wohl die häufig auftretende Schwingung des Süderhafens von 90 Minuten Dauer gesucht werden. Der vielmal größere Flächeninhalt des außerhalb Burtzi gelegenen Teiles läßt auch eine bedeutend größere Amplitude im Chalkidischen Euripus erwarten und diese Schwingung erreicht auch im Süderhafen große Amplituden. Für die nächst größere Periodendauer kann der Knoten nur bei der Insel Kavalianis gesucht werden. Nach Du Boys' Formel erhält man hiefür eine Schwingungsdauer von 165 Minuten. Wie die Chrystalsche Theorie ergeben hat, sollte für eine nicht zu starke Einengung am Knoten, wie wir sie hier haben, sich eine solche Verlängerung der Periodendauer ergeben, daß diese der sonst nach Du Boys zu großen Dauer nahekammt. In den Beobachtungen findet sich aber keine Schwingung von der erwähnten Dauer. Es scheint vielmehr die am häufigsten beobachtete Periodendauer von 120 Minuten dieser Schwingung zuzukommen. Die schwingende Bucht hat nämlich an ihrem Ende den schmalen und seichten Chalkidischen Euripus und auf diesen Teil treffen allein 65 Minuten nach Du Boys, während nach Chrystal¹⁾ solche Buchten am Ende eines Schwingungsbauches die Dauer wenig beeinflussen. Hiemit erklärte sich auch die merkwürdige Verkürzung der uninodalen Seichesdauer des Mondsees²⁾, der an seinem nordöstlichen Ende sehr spitz ausläuft. Ich halte es daher für wahrscheinlich, daß die Schwingung von 120 Minuten ihren Knoten bei Kavalianis hat. Für die nächst kleinere Periodendauer von 105 Minuten kann keine Schwingungsform des südlichen Beckens angegeben werden; sie kann durch die Ablesungen entstanden sein (vgl. Tabelle S. 114) oder es kann auch bei gleichzeitigem Auftreten der Seiche von 90 Minuten und 120 Minuten oder abwechselndem Vorherrschen der einen oder anderen Amplitude der beiden fälschlich das Mittel beider als neue Seiche gezählt sein. Die Schwingungen von größerer Dauer sind wahrscheinlich alle solche, deren Knoten außerhalb

¹⁾ Trans. R. Soc. Edinb. 1905, 25, p. 599.

²⁾ Pet. Mitt. 1911, p. 205.

des Golfes von Petali liegt und haben als Schelfseiches zu gelten im Sinne von R. A. Harris¹⁾, wie sie auch in dem Mareogramme von Isthmia sich finden²⁾.

Die Möglichkeit, daß auch Schwingungen zwischen dem nördlich und südlich Chalkis sich befindlichen Becken mit einem Knoten an der Enge selbst auftreten können, hat Krümmel schon in Betracht gezogen und für unwahrscheinlich erklärt, weil die Gezeiten sich nicht einmal dorthin fortsetzten. Seine Berechnungen, welche er an der Hand der damals noch einzigen Formel von Merian³⁾ anstellte, ließen eine solche Schwingung wohl zu. Aus der obenerwähnten Formel der Japaner (S. 118) läßt sich für eine angenommene Buchtenschwingung des Chalkidischen Euripus mit einem Knoten an der Brücke bei Chalkis eine Dauer von rund 11 Stunden berechnen und wenn man den ganzen Eretrischen Euripus mit einem Knoten an der Enge bei Chalkis als schwingende Bucht in Rechnung zieht, eine solche von mehr als 60 Stunden. Berücksichtigt man noch, daß diese Buchten nach Süden nicht abgesperrt sind, sondern durch viel weitere Mündungen, als es der schmale Sund ist, mit dem offenen Meere in Verbindung stehen, so daß eine entstehende Niveaudifferenz in kurzer Zeit sich nach dorthin ausgleichen muß, so darf man eine solche Schwingung als unmöglich bezeichnen.

Die Strömungen des Euripus bei Chalkis.

Im vorausgehenden haben wir gesehen, daß die beiden Meeresteile nördlich und südlich Chalkis ständig Niveauschwankungen unterworfen sind, welche Hubhöhen von mehr als 1 m erreichen können. Beide Becken verbindet nun ein schmaler Sund von nur 60 m Breite und ebensolcher

¹⁾ R. A. Harris, Manual of tides V (U. S. Coast Survey Rep. 1907). Washington 1908, S. 472.

²⁾ Diese Sitzungsberichte. München 1913, p. 572.

³⁾ Merian, Über die Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten in Gefäßen. Basel 1828, p. 31.

Länge. Derselbe ist an der schmalsten Stelle (bereits seit dem Jahre 411 v. Chr.) überbrückt und zwar führt von der Mitte aus, wo sich noch eine alte venetianische Feste befindet, eine 18 m lange Drehbrücke nach der Insel und eine ebenso lange feste Brücke nach dem Festlande. Unter der Drehbrücke ist die Wassertiefe 5,5 bis 6 m, unter der festen nicht ganz 1 m. Hier am seichtesten Teile liegen die bekannten Mühlen, welche durch die Strömung betrieben werden¹⁾. Durch diesen Verbindungskanal suchen sich die bestehenden Niveaudifferenzen auszugleichen und erzeugen jene von alters her so bekannten Euripusströmungen, die wegen ihrer Unregelmäßigkeit in Stärke und Richtung sprichwörtlich geworden sind. Schon wenn nur die stets in größerer Zahl vorhandenen Schwankungen eines Beckens die Strömungen erzeugen würden, wären unregelmäßige Änderungen in Stärke und Richtung der Strömung zu erwarten. Nun kommen aber auch ebenso die Schwankungen des zweiten Beckens in Betracht und ändern den beiderseitigen Niveauunterschied, so daß die Unregelmäßigkeit der Strömung darin hinlänglich begründet ist.

Wir können uns aber einen tieferen Einblick in das Strömungsproblem verschaffen, indem wir die Differenzen der halbstündlichen Pegelablesungen nördlich und südlich der Enge bilden, worin wir dann direkt die sich in Strom umsetzende Wasserhöhe erhalten. In folgender Tabelle sind die Differenzen (in Zoll) für den ganzen synodischen Monat vom 27. März bis 25. April 1872 zusammengestellt, wobei die fetten Zahlen eine Erhebung des südlichen Niveaus über das nördliche bedeuten, also einen Strom von Süd nach Nord andeuten, die übrigen Zahlen eine Erhebung des nördlichen Niveaus und einen Strom von Nord nach Süd anzeigen. Letzterer wird gewöhnlich auch Flutstrom genannt. Aus der Tabelle ersieht man vor allem die Zeit des Stromwechsels an jedem Tage. Miaulis hat nun an 5 Tagen auch Beobachtungen der Zeit des Stromwechsels angestellt und wir können diese benutzen, um sie mit den Ergebnissen unserer Tabelle zu vergleichen.

¹⁾ Zur Zeit wird ein 30 m breiter und 8 m tiefer Kanal hergestellt.

19	14	12'	12'	10'	10	10'	8	4'	1	3	5'	4	3	3'	3	3'	2'	2'	1'	3	1	3	7'	15	16	2	4	16	5'	6	E 1	S 4
20	1	1	4	6	8	8	12	12	10	6	6'	6	2	5	3'	2'	3	2	2	1	0	1	·	3	3'	2	2 ¹ / ₂	12	5'	3 ¹ / ₂	NNE 4	S 7
21	2	3'	4	6	2	9'	7'	6'	5	2'	3	2'	3	0	2'	0	4	2	1	2'	2	5	4	4	8	4	7	9	4	1 ¹ / ₂	NNE 1,2	S 1
22	2	2	1'	3	1	4'	2	1'	2	7	4'	2	2'	4'	1'	5'	4	2'	0	3'	1	3	9	4	0	8	7	9'	4	2 ¹ / ₂	NNW 4	N 2
23	6	1	4	5	1	0	1	0	2	3	0'	5	2	10	13'	12	12	15	9	10'	9	7	1	1	5	4	7	10	5'	2 ¹ / ₂	NNE 11	NNE 7
24	5	1	3	2	5'	1	0'	1'	4	0	3	5	6	7	8	5	10	9	10	6	10	8'	8	5	1	4	5 ¹ / ₂	10'	5	2 ¹ / ₂	NNE 11	NNW 16
25	3	2	2	5	3	2	4	2	1	4	2	3'	2'	4	11	10'	14	14	12'	15	15	15'	18	14	5'	2	6	18	4	4	NNW 7	NNW 4
26	6	0	1	2	5'	8	9'	8'	5	2	1	1	1'	—	7	9	11	9'	10	11	13	14'	12	11	15	2	3 ¹ / ₂	14	9	4 ¹ / ₂	NNW 4	NNW 2
27	7	4'	0'	4	6	8'	9	10	9	11	8'	6	5	4	3'	3	7	8	12'	·	10'	17	12	9	—	2	3	17'	11'	6 ¹ / ₂	O	S 1
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	SSW 1	S 4
29	14	11	6	4	7	0	1	7	7	8'	8'	7	7	8	6'	4	0'	0'	6'	12'	15	16	17'	16	14	2	2	17	8	5 ¹ / ₂	E 1	S 2

- Anmerkungen. 1. Die Niveaudifferenz ist in engl. Zoll angegeben. Halbe Zoll sind durch einen Strich rechts oben von der Zahl angedeutet.
2. Die fetten Zahlen bedeuten eine südliche Niveauerhebung und daher eine Umkehrung der Stromrichtung.
3. Die Zahl neben der Windrichtung gibt die Sekundengeschwindigkeit des Windes in Metern an.
3. Die größte Niveaudifferenz am 14. Montag um 6^h und 6^h 30^{min} a. m. von 27 und 19 Zoll ist durch nichts begründet, weshalb hier ein Druckfehler vermutet werden kann.

Kentern der Strömung.

Mondtag	Datum	Gegen Norden		Gegen Süden	
		nach		nach	
		Miaulis	Tabelle	Miaulis	Tabelle
0.	27. III. 72	9h 10min	9h 10min	2h 10min	1h 50min
8.	4. IV. 72	—	—	—	—
15.	11. IV. 72	8h 42min	8h 45min	2h 23min	1h 50min
23.	19. IV. 72	6h 45min	6h 30min	8h 0min	8h 0min
		8h 30min	8h 20min	9h 10min	9h 0min
				(11h 55min)	—
		5h 10min	—	5h 30min	—
29.	25. IV. 72	8h 15min	8h 30min	2h 30min	2h 45min

Die Beobachtungszeiten stimmen also sämtliche bis auf 20 Minuten überein, nur sind 2 Wechsel am 23. Mondtage aus unserer Tabelle gar nicht zu finden und zwar um 5^h 10^{min} und 5^h 30^{min}, was sich jedoch vollkommen daraus erklärt, daß die Pegelablesungen halbstündlich gemacht wurden und dadurch die Erhebung des südlichen Niveaus um 5^h 10^{min} unbeobachtet bleiben konnte. Aus der Übereinstimmung in obiger Zusammenstellung dürfen wir einmal folgern, daß die Pegel selbst einnivelliert waren, ferner daß keine Schwingungen zwischen dem Talantischen und Eretrischen Euripus stattgefunden haben, da die Stromphasen zeitweise entgegengesetzt denjenigen durch die Niveaudifferenz erzeugten hätten sein müssen.

Miaulis hat eine eigens für den nautischen Gebrauch bestimmte Stromtafel aufgestellt (Tab. I der Originalarbeit), welche die Zeiten des Stromkenterns für einen ganzen synodischen Monat enthält, wonach ein Kentern nach je 6 Stunden 6 Minuten stattfinden sollte, was auch Krümmel aus den überwiegenden Gezeiten des Norderhafens gemäß der Wellentheorie gefolgert hat. Unsere Tabelle läßt aber deutlich ersehen, daß die Dauer des Stromes in nördlicher Richtung (angedeutet durch die fetten Zahlen) an 27 von den 29 Tagen immer unter 6 Stunden bleibt; dieselbe erreicht überhaupt nur

3,7 Stunden im Mittel. Auch Miaulis sind die zum Teil bedeutenden Abweichungen an den obenerwähnten 5 Tagen von der Stromregel seiner Tafel nicht entgangen, er sieht aber die Ursache ausschließlich in den beobachteten Wind- und Luftdruckverhältnissen. Es treten aber auch bedeutende Abweichungen an ganz ruhigen Tagen auf, wie ein Vergleich der in der Tabelle S. 127 angefügten meteorologischen Beobachtungen mit der Dauer des Südstromes zeigt. So blieb am 4., 6., 7., 16., 17., 20. und 26. Mondtage, obwohl fast Windstille herrschte, die Dauer des Südstromes unter $4\frac{1}{2}$ Stunden. Während zur Zeit der Syzygien die Richtung und Stärke der Strömung noch deutlich überwiegend durch die Gezeiten des Norderhafens veranlaßt wird und die Maxima der Stromstärke in der einen und anderen Richtung mit Hoch- und Niedrigwasser des Norderhafens zusammenfallen, nimmt die Dauer des südnördlich gerichteten Stromes den Quadraturen zu immer mehr ab und nimmt dann wieder zu und zwar wiederholt sich diese Abnahme und Zunahme des ersten halben Monats ebenso im zweiten, obwohl ganz verschiedene meteorologische Beobachtungen vorliegen. Im Zusammenhang damit steht das weitere, nicht unwichtige Ergebnis aus unserer Tabelle, daß die nördliche Erhebung des Niveaus über das südliche im Durchschnitt doppelt so groß ist wie die südliche Niveauerhebung. Es kann hiefür nur im Gange der Gezeitenkurve des Süderhafens die Ursache gesucht werden. Wie aus den Gezeitenkurven aus Fig. 2 u. 3 und aus denjenigen des zweiten halben Mondmonates zu ersehen ist, liegt zur Zeit des Hochwassers im Norderhafen der Wasserstand des Süderhafens nahe dem Mittelniveau, so daß als Druckhöhe die halbe Hubhöhe der Gezeiten sich ergibt; wenn aber dann nach 6 Stunden nördlich Niedrigwasser ist, steht das südliche Niveau unter Mittelwasser, verkleinert so die südliche Druckhöhe und verkürzt gleichzeitig die Dauer einer südlichen Erhebung. Nimmt dann die Hubhöhe der nördlichen Gezeitenbewegung stärker ab, wie vom 5. und 20. Mondtage an, wo sie nur mehr die Hälfte beträgt, während die südlichen Tiden infolge des Eintagstypus sich

nicht im gleichen Sinne ändern, so erhebt sich das südliche Niveau nur mehr wenige Stunden über das nördliche und nur um wenige Zoll.

Am 8. und 22. Montag ist keine eigentliche Zeit, wo südnördlicher Strom herrscht, mehr zu erkennen und deshalb beginnen an denselben die bekannten Störungen der Gezeitenströme. Dadurch nämlich, daß die Hubhöhen der Gezeiten im Norderhafen selbst so klein sind, werden auch die nördlichen Niveauerhebungen so verkleinert, daß die Seiches auch ohne exzessive Amplituden eine Stromumkehr im einen oder anderen Sinne während des ganzen Tages bewirken können. Es zeigen sich zwar solche Stromwechsel schon am 4. bis 7. Montage und am 19. bis 21., wie aus der Tabelle zu ersehen ist, doch nur zu derjenigen Zeit, wo der schwache südnördliche Strom vorhanden sein sollte. Ebenso finden sich nach den Quadraturen nur zu den Zeiten des südnördlichen Stromes solche kurzdauernde Stromwechsel. Da nun in allen Berichten über das Euripusproblem übereinstimmend die Störungen erst mit und nach den Quadraturen auftreten sollen, so kann nur die Vertauschung der Flutstunden die Ursache davon sein, die am 7. und 23. eintritt. Wir müssen daher Miaulis zustimmen, wenn er diese Vertauschung gegenüber Forel als einen wesentlichen Teil der Euripusfrage bezeichnet. Denn nach Forels Hypothese sollten sich die Gezeitenstörungen ebensoviel Tage vor als nach den Nipptiden zeigen, da die Hubhöhen der Gezeiten in gleichem Abstände von den Quadraturen gleich groß sind.

Unsere Tabelle läßt nun deutlich erkennen, warum Miaulis die Vertauschung der Flutstunden erst auf den 10. und 25. Montag verlegte. Erst an diesen Tagen sind die südlichen Niveauerhebungen wieder so groß, daß die Seiches und andere denivellierende Ursachen keine Stromumkehr mehr verursachen können, so daß von da an deutlich zu beobachten ist, daß die südnördliche Strömung vormittags auftritt, während sie vor den Gezeitenstörungen am Nachmittage anzutreffen ist.

Eine Unklarheit bestand auch von jeher über die Anzahl der Stromwechsel innerhalb 24 Stunden, wofür auch die Tabelle

der Niveaudifferenzen Aufklärung bringt. Aus dieser Anzahl Stromwechsel innerhalb 12 Stunden, wie ich sie in der Tabelle angefügt habe, sieht man, daß ein einziges Mal 8 solche gezählt werden konnten; sonst findet sich nur bis 4 maliger Wechsel. Dabei kann allerdings der eine oder andere kurzdauernde Wechsel durch die halbstündlichen Ablesungen verborgen geblieben sein. Doch sind diese Stellen an den kleinen Druckhöhen gewöhnlich zu erkennen, wie die schon erwähnte Stromumkehr am 23. Montag um 5^h 10^{min}, wo die Druckhöhe sich auf 1 Zoll verringerte und nach einer halben Stunde noch 1 Zoll betrug. Wenn Babin berichtet, es pflege in 24 Stunden der Strom 11- bis 14- und mehrmal nach Süden zu strömen und wieder zurück nach Norden, so dürfte er dies aus dem beobachteten 3 maligen Stromwechsel in 1½ Stunden gefolgert haben. Es könnten sich ja im äußersten Falle alle Seichesschwingungen im Stromwechsel zeigen, wenn sich die Niveaudifferenz unter den Seichesamplituden halten würde; aber zu den Niveauänderungen durch die Gezeiten kommen noch, wie wir unten sehen, solche durch meteorologische Faktoren und gerade dann, wenn größere Seichesschwingungen sich zeigen, so daß ein so häufiger Stromwechsel ganz selten einmal sich zeigen dürfte. Die aufgetretenen Seiches sind auch aus unserer Tabelle zu erkennen, nämlich aus den wellenförmigen Schwankungen der Niveaudifferenzen. Die Anzahl derselben in zwölf Stunden habe ich ebenfalls in unserer Tabelle S. 127 angefügt, wonach im Maximum 7 Wellen aufgetreten sind. Im günstigsten Falle hätten wir demnach 14 maligen Stromwechsel in 12 Stunden erhalten können, dabei hätte die Niveaudifferenz infolge der Gezeitenbewegungen, der meteorologischen Schwankungen und der Seiches von größerer Periodendauer den ganzen Tag soweit unter den Amplituden dieser Schwankungen bleiben müssen, daß dieser Wechsel so oft hätte auftreten können. Auch Miaulis kennt keinen so häufigen Stromwechsel, weshalb er sich gegen Forels Annahme von Seiches mit 1½ stündiger Periodendauer wendet. Die Ergebnisse der Beobachtungen an diesem einen Mondmonat können die Annahme der Alten

stützen, welche einen 7 maligen Wechsel bei Tag und 7 maligen bei Nacht beobachtet haben wollen¹⁾.

Diese Stelle in den Klassikern ist häufig mißverstanden worden, indem man statt der Stromwechsel eine 7 malige Ebbe und Flut an einem Tage angenommen hat und diese sich ebenso regelmäßig dachte wie die Gezeiten. Einen Anlaß dazu gibt allerdings auch die Bezeichnung des nordsüdlichen Stromes als Flutstrom, welche Bezeichnung ja für den größten Teil eines Mondmonates richtig ist. An den Tagen der Störung jedoch kann ein nordsüdlicher Strom nicht nur durch einen Wellenberg der Seiches im Norderhafen entstehen, sondern ebenso durch eine Senkung des südlichen Niveaus. Auch Forel hat ursprünglich Babins Bericht über 11- bis 14- und mehrmaligen Wechsel der Strömung mißverstanden und daraus eine Periodendauer für die Seiches abgeleitet²⁾. Wie wenig angängig es ist, aus dem Stromwechsel eine bestimmte Periodendauer herauszulesen, zeigen die Intervalle zwischen den einzelnen Stromänderungen am 22. Mondtage, dem Tage mit 8 solchen Wechseln: $1\frac{1}{2}^h$; $4\frac{1}{2}^h$; $11\frac{1}{4}^h$; $11\frac{1}{4}^h$; $1\frac{1}{2}^h$; 1^h ; $3\frac{3}{4}^h$. Nach unseren Ergebnissen kommt daher die Schilderung der Euripusströmungen, wie sie sich bei Livius findet, der Wahrheit am nächsten, weshalb ich dieselbe wohl nicht übergehen darf: . . . *fretum ipsum Euripi non septiens die, sicut fama fert, temporibus statis reciprocatur, sed temere in modum venti nunc huc nunc illuc verso mari velut monte praecipiti devolutus torrens rapitur*“. (Tit. Livius Lib. XXVIII, Cap. 6, 10.)

Die Beobachtung Babins, daß in $1\frac{1}{2}$ Stunden der Strom 3 mal wechselte, finden auch wir in unserer Tabelle, nämlich am 21. und am 22. Mondtage. Hier wird der Wechsel von den Seiches von nahe $1\frac{1}{2}$ Stunden Periodendauer veranlaßt; da aber die Niveaudifferenz sich wieder vergrößert, kommt der Wechsel nur 3 mal nacheinander vor und nicht öfter.

¹⁾ Pomp. Mela II, 7 und Plinius II, 100.

²⁾ Forel, Le Léman II, p. 166.

Weit unregelmäßiger als die Stromrichtungsänderungen sind noch die Änderungen in der Geschwindigkeit der Strömung. Wir finden aus der Tabelle, daß die den Strom erzeugende Wasserhöhe sich in 30 Minuten um 10 Zoll und mehr ändern kann, dann mehrere Stunden konstant bleibt, um dann ebenso sprungweise sich plötzlich wieder zu ändern. 3 Tage vor und 3 Tage nach den Syzygien nur findet die Strömungsänderung in Richtung und Stärke ebenso regelmäßig wie im Ozean statt (s. Fig. 8 der Tafel) und wenn sich in der Literatur neben Bemerkungen über die sprichwörtliche Unregelmäßigkeit auch solche über die große Regelmäßigkeit der Strömungen finden¹⁾, so kann man das daraus erklären, daß die letztere Beobachtung zur Zeit der Syzygien gemacht wurde.

Die wellenförmigen Schwankungen der Stromstärke sind viel deutlicher aus einer graphischen Darstellung der Niveaudifferenzen zu ersehen. Hiebei zeigt sich, daß der Gang dieser Kurven nicht komplizierter als der Gang der Pegeldiagramme selbst sich erweist, wie man hätte glauben sollen, sondern häufig einfacher als dieser. Die Erscheinung rührt davon her, daß die häufig vorhandenen Seiches im Norder- und Süderhafen an Dauer einander nahekommen und durch Interferenz in der neuen Kurve sich zu einem Wellenzug vereinigen und bei gleicher Phase sich sogar ganz aufheben können. Ein Beispiel hiefür ist die Kurve vom 22. Montag (vgl. Fig. 7 der Tafel) welche viel ruhiger verläuft als die einzelnen Diagramme des Norder- und Süderhafens für diesen Tag, die Krümmel in seiner Ozeanographie mitgeteilt hat²⁾.

Zu den früher besprochenen Niveauänderungen periodischer Art kommen noch unperiodische Schwankungen, welche durch Wind und Luftdruckschwankungen verursacht werden. Dieselben hat Miaulis ausführlich besprochen. In unserer Tabelle S. 127 sind auch diese deutlich zu erkennen, besonders wenn

¹⁾ Cic. N. D. 3, 10. 24.

²⁾ Siehe Fig. 46, S. 181 in Krümmels Ozeanographie II, 1911.

man Tage mit entsprechendem Gezeitengang miteinander vergleicht. So findet sich am 1. und 15. Montag eine merklich kleinere Niveauerhebung südlich der Enge als an den darauffolgenden Tagen. Die in der letzten Kolumne unserer Tabelle eingetragenen Windbeobachtungen von Miaulis bringen dafür die Erklärung. Der starke NNW staut das Wasser im Norderhafen an und drückt es gleichzeitig im Süderhafen hinunter. Das gleiche zeigt sich am 5., 8., 24. und 25. Montag, wobei am 8. Montag ständig im Norderhafen durch die besprochene Stauwirkung eine Erhebung des nördlichen Niveaus, also in 12 Stunden kein einziger Stromwechsel auftrat. Umgekehrt sehen wir auch im Süden größere Druckhöhen als an anderen Tagen, wie am 2., 13., und 17. Montag, wo südliche Winde ein Anstauen im Süderhafen und ein Ebben im Norderhafen bewirkten. Gleichzeitig traten an allen Tagen mit größerer Windstärke auch Seiches von größerer Amplitude auf, wie aus den Pegeldiagrammen am deutlichsten zu ersehen ist, und ebenso die größere Anzahl von Wellen in unserer Tabelle S. 127 pro 12^h erkennen läßt, nämlich am 3., 4., 5., 10., 23., 24. und 25. Montage. Daß die Amplituden der Seiches gleichzeitig viel größer sind im Süderhafen als im Norderhafen, begründet sich daraus, daß die Seiches erzeugenden Wellen vom offenen Meere kommen und in dem engen und seichten Chalkidischen Euripus an Amplitude zunehmen müssen. Die Seiches nördlich und südlich der Enge werden also, soweit die vorhandenen Beobachtungen hinreichen, von den gleichen Ursachen erzeugt wie die Seiches in den Seen und Meeren, die, seit Forel und Krümmel hierüber geschrieben haben, eingehend erforscht worden sind. Am Euripus dürfte nur zufolge der lokalen Verhältnisse eine neue Ursache dazu kommen. Ebenso wie in den Seen durch periodisches Öffnen und Schließen des Zu- und Abflusses künstlich Seiches sich erzeugen lassen¹⁾, so müssen auch die stark in Rich-

¹⁾ A. Endrös, Die Vibrationen der Seen. Programm d. hum. Gymn. Freising 1911, p. 24.

tung und Geschwindigkeit wechselnden Strömungen periodische Schwankungen speziell im kleineren Süderhafen auslösen, welche besonders dann, wenn die Periodendauern der Strömung einer Eigenschwingungsdauer der Bucht nahe kommen, wie das nach dem vorausgehenden der Fall ist, merkliche Amplituden erreichen können.

Miaulis kennt auch eine Meeresströmung, welche durch den Oreoskanal nach dem Talantischen Euripus fließt und von da durch den engen Kanal bei Chalkis nach Süden sich fortsetzen soll. Eine solche Strömung war besonders bei der Enge des Sundes bei Chalkis nicht recht verständlich. Nun haben wir aus der Tabelle der Niveauunterschiede gesehen, daß der nordsüdlich gerichtete Strom im Durchschnitt mehr als nochmal so lange während des Tages vorherrscht und daß die nördliche Erhebung dazu im Mittel nochmal so groß ist; es muß daher mehr als 4 mal soviel Wasser nach Süden strömen, als wieder zurück nach Norden fließt und der Wasserverlust muß durch den Oreoskanal wieder zuströmen. Da Strömungen bis $8\frac{1}{2}$ Knoten von Norden nach Süden durch die Enge führen, so kann dadurch auch eine meßbare Strömung durch den Oreoskanal entstehen.

Schlussbetrachtung.

Die Ergebnisse der vorstehenden Untersuchungen seien, wie folgt, zusammengestellt:

1. Der von Miaulis beobachtete anomale Flutwechsel von $12^h 12^{min}$ ist wirklich aus den Pegeldiagrammen des Norderhafens entgegen der Annahme Krümmels als vorhanden nachzuweisen und begründet sich vollständig daraus, daß die halbtägige Mondtide einerseits und die halbtägige Sonnentide einschließlich der Deklinationstide andererseits nahezu gleiche Amplituden haben. Eine solche Gezeitenkurve bildet eine sogenannte Schwebung als Interferenzkurve, deren Wellenperiode das Mittel derjenigen der Komponenten ist, und enthält eine große halbmonatliche Ungleichheit, da zur Zeit der Quadra-

turen die Gezeiten sich vollständig aufheben. Von da ab geht der Wellenzug mit einer Phasenverschiebung von 6 Stunden weiter und verursacht so die merkwürdige Vertauschung der Flutstunden nach den Quadraturen.

2. Die Amplituden der halbtägigen Gezeitenkomponenten lassen sich aus Miaulis Tabellen schätzen und zwar $M_2 = 230$ mm, $S_2 = 170$ mm, $K_2 = 70$ mm für den Norderhafen, während diejenigen des Süderhafens sehr nahe denjenigen von G. Wegemann für Isthmia durch harmonischen Analyse gefunden gleichkommen dürften und zwar $M_2 = 17$ mm, $S_2 = 14$ mm, $N_2 = 2,8$ mm, $K_2 = 3,9$ mm. Die Eintagstiden dagegen haben nördlich und südlich ungefähr gleiche Hubhöhen von 75 bis 100 mm. Im Norderhafen haben wir also ausgesprochenen Halbtagestypus, im Süderhafen aber überwiegenden Eintagestypus; ferner erreichen die Gezeiten nördlich eine Hubhöhe von 1 m im Maximum, die südlichen dagegen nur etwa 0,15 m.

3. In den Pegeldiagrammen nördlich und südlich der Enge finden sich der Theorie Forels entsprechend ständig Seiches, wie sie Krümmel schon gefunden hat. Da aber die Ablesungen in Intervallen von 30 Minuten vorgenommen sind, bleiben nicht nur Seiches kürzerer Dauer verborgen, sondern können periodische Schwankungen entstanden sein, die in Wirklichkeit gar nicht vorhanden waren. Auch die Berechnung der Periodendauern liefert bei der komplizierten konvexen Gestalt der in Betracht kommenden Becken nur rohe Annäherungen. Wahrscheinlich sind gemäß Berechnung und Vermessung der Diagramme im Norderhafen: a) Eine Seiche von 480 Minuten, die Buchtenschwingung des ganzen Talantischen Euripus mit einem Knoten im Oreoskanal. b) Eine Seiche von rund 200 Minuten, die uninodale Seiche des Talantischen Euripus samt Malischen Golfes mit dem Knoten bei den Lichaden. c) Eine Seiche von 95 Minuten, die uninodale Schwingung des Talantischen Euripus.

Im Süderhafen treten sehr wahrscheinlich folgende Seiches auf: a) Die Querseiche des kreisrunden Beckens von 10 Minuten Dauer. b) Die Buchtenschwingung dieses Hafens mit dem

Knoten an der südlichen Mündung und einer Dauer von rund 36 Minuten. c) Die Schwingung des ganzen Chalkidischen Euripus mit dem Knoten bei Burtzi und einer Dauer von 90 Minuten; sie ist zugleich die häufigste Schwingung. d) Die Seiche des ganzen Eretrischen samt Chalkidischen Euripus von 120 Minuten Periodendauer und dem Knoten bei der Insel Kavalianis. e) Schwingungen größerer Dauer, welche ihren Knoten außerhalb des Golfes von Petali haben müssen.

Eine Schwingung mit einem Knoten bei Chalkis ist bei dem kleinen Querschnitt der Straße unmöglich.

4. Die tabellarische Zusammenstellung der Niveauunterschiede nördlich und südlich der Straße bei Chalkis gewährt einen tieferen Einblick in das komplizierte Strömungsproblem des Euripus. Zur Zeit der Syzygien sind die Strömungen durch die überwiegenden Gezeiten des Norderhafens bedingt und kentern der Theorie entsprechend nach etwa 6 Stunden. Doch ist die südliche Niveauerhebung nur halb so groß wie die nördliche und auch die Dauer des südnördlichen Stromes eher unter 6 Stunden. Dieselbe nimmt dann bis zu den Quadraturen immer mehr ab und dann wieder zu, so daß im Durchschnitt nur ein Drittel des Tages südnördliche Stromrichtung und dazu von merklich geringerer Geschwindigkeit anzutreffen ist. Ursache hiefür ist der Gang der Gezeiten im Süderhafen, welcher die Niveaudifferenz in dieser Weise beeinflußt.

5. Die bekannte Gezeitenstörung ist nur zum Teil durch Seiches verursacht, nicht ausschließlich, wie Forel annahm. Während an den Tagen der tauben Flut die kurzdauernden Schwingungen nördlich und südlich der Enge die Stromwechsel noch verursachen können, ist die Unregelmäßigkeit in den 3 Tagen nach den Quadraturen hauptsächlich durch die Vertauschung der Flutstunden bedingt, welche zur Folge hat, daß Vormittag südnördlicher Strom und Nachmittag nordsüdlicher sich einstellt, während vor den Quadraturen das Umgekehrte der Fall ist. Infolge der kleinen Niveaudifferenzen zeigt sich diese Vertauschung aber erst am 11. und 25. Mondtage deutlich, wodurch sich erklärt, warum Miaulis die Vertauschung

auf diese Tage verlegt. Die Seiches bringen nicht nur nach den Quadraturen sondern auch vorher einzelne kurzdauernde Stromwechsel hervor, aber nur zur Zeit des schwachen süd-nördlichen Stromes oder des Stromkenterns.

6. Die Stromwechsel erweisen sich nicht so häufig, wie Babin berichtet, einmal nur zählt man 8 solche in 12 Stunden, sonst nie mehr als 4. Sie treten aber in so unregelmäßigen Zwischenzeiten auf, daß daraus keine Periodendauer der Seiches abgeleitet werden kann. In den Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit jedoch sind immer periodische Schwankungen zu finden, die von Seiches herrühren und deren größte Anzahl innerhalb 12 Stunden 7 ist, und nur wenn zufällig einmal 12 Stunden lang keine anderen Niveaudifferenzen bestünden, hätte man 14 maligen Stromwechsel. Einen bedeutenden Einfluß auf die Strömungen übt aber noch die Stauwirkung der Winde aus, welche südlich und nördlich gewöhnlich in gleichem Sinne wirken und das Kentern der Strömung verschieben und die Richtung des Stromes auch umkehren können.

Die Seiches werden, wie auch anderswo, hauptsächlich von meteorologischen Ursachen erzeugt, wozu hier noch die an Stärke und Richtung wechselnde Strömung kommt. Die Seiches im Süderhafen haben im Mittel doppelt so große Amplituden wie die nördlichen, da die sie erregenden Wogen vom offenen Meere kommen können und in die enge und seichte Bucht einlaufen.

Die Meeresströmung durch den Oreoskanal über Chalkis nach Süden wird zum Teile wenigstens durch die Euripuströmungen selbst verursacht, die in der Beobachtungszeit mehr als 4 mal so viel Wasser nach Süden führten als wieder zurück nach Norden.

Überblicken wir noch einmal die Ergebnisse, so finden wir vor allem ein ganz merkwürdiges Zusammentreffen von großen Anomalien der Gezeiten, wie die großen Hubhöhen im binnenseeartigen Talantischen Euripus und die ungewöhnlich kleinen südlich, den ausgesprochenen Halbtagstypus im Norderhafen

und den vorwiegenden Eintagstypus im Süderhafen, die ungewöhnlich große Sonnentide und Deklinationstide nördlich und im Zusammenhang damit der anormale Flutwechsel von $12^h 12^{min}$ und die Vertauschung der Flutstunden nach den Quadraturen, wie auch die große halbmonatliche und halbjährliche Ungleichheit. Dazu kommen die stets wechselnden Stauwirkungen der Winde und die häufigen Seiches mit großen Amplituden. Beide Meeresteile stehen nun durch einen so engen Kanal in Verbindung, daß durch denselben sich die Wellenbewegungen nicht fortsetzen, aber die kleinsten Niveauunterschiede in Strom umsetzen können und so die Wassermassen bald wie in einem reißenden Strome nach Süden und wieder zurück nach Norden sich drängen, bald wieder stillstehen können. Diese Stromvorgänge mußten seit alters einem jeden Beobachter auffallen, der auf der Brücke stand, die über den Sund führt, ebenso wie den Schiffen, die im Hafen auf das Kentern des Stromes warten mußten, um die Enge durchfahren zu können und den Leuten, die die von der wechselnden Strömung betriebenen Mühlen bedienten. Man versteht daraus die große Berühmtheit des Euripusproblems, mit welchem sich jeder Ozeanograph seit dem Altertum beschäftigte, und begreift zugleich die Unmöglichkeit, die durch das Zusammenwirken von so vielen Umständen verursachte Regellosigkeit der Euripusströmungen vor der modernen Entwicklung der Gezeiten- und Seicheskunde zu ergründen, wie auch das Entstehen der bekannten Fabel, daß einem Aristoteles darob der Sinn so verwirrt wurde, daß er in der Verzweiflung in den Fluten des Euripus den Tod gesucht hat.

Es ist das Verdienst des Kapitän A. Miaulis, durch seine eingehenden Beobachtungen uns einen tieferen Einblick in das Problem verschafft zu haben; dabei bleibt es der Zukunft vorbehalten, an der Hand von Beobachtungen mit Registrierapparaten nördlich und südlich der Straße von Chalkis die in Betracht kommenden Faktoren, die sich zum Teil nur schätzen ließen, durch exakte Analyse zu bestimmen.

Fig.1. Künstliche Gezeitenkurve $M_2=S_2=20\text{ mm}$, $1^h=1\text{ mm}$

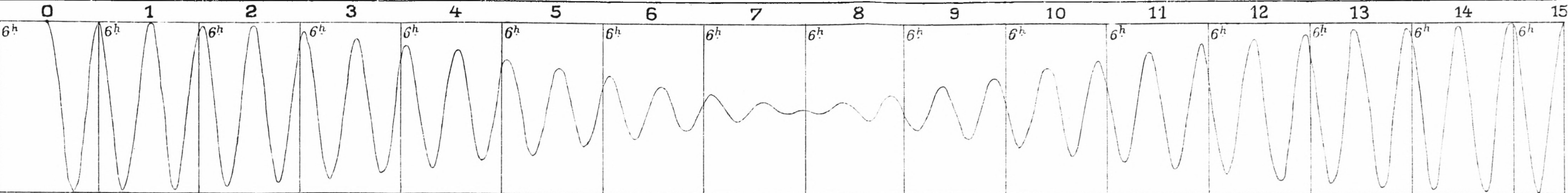


Fig.2 Pegeldiagramme des Norderhafens von Chalkis vom 27. März bis 11. April 1872.

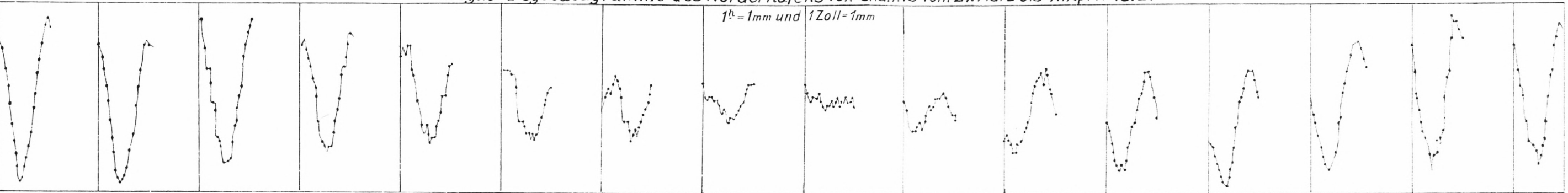


Fig.3. Pegeldiagramme des Süderhafens von Chalkis vom 27. März bis 11. April 1872.

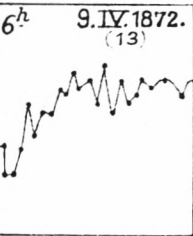
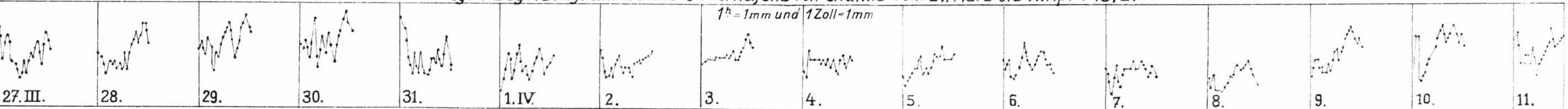


Fig.4. Restkurve des Norderhafens mit eintägiger Tide.
Maßstab $1^h = 2\text{ mm}$.
 $1\text{ Zoll} = 2\text{ mm}$

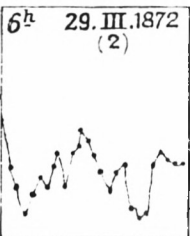


Fig.5. Restkurve des Norderhafens mit 8 Stunden-Seiche
Maßstab $1^h = 2\text{ mm}$
 $1\text{ Zoll} = 2\text{ mm}$

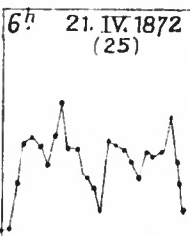


Fig.6. Restkurve des Norderhafens mit 200 Min.-Seiche.
Maßstab $1^h = 2\text{ mm}$
 $1\text{ Zoll} = 2\text{ mm}$

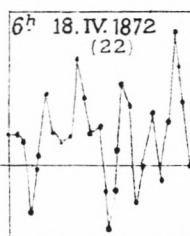


Fig.7. Diagramm der Niveau-differenzen nördlich und südlich Chalkis.
Maßstab $1^h = 2\text{ mm}$
 $1\text{ Zoll} = 2\text{ mm}$

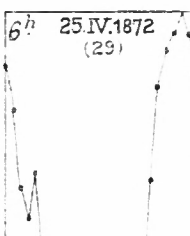


Fig.8. Diagramm der Niveau-differenzen nördlich und südlich Chalkis.
Maßstab $1^h = 2\text{ mm}$
 $1\text{ Zoll} = 2\text{ mm}$
+ (nördliche Erhebung)
- (südliche Erhebung)