

11  
A

477

B 143

D 1083

# Schwankungen des Wasserspiegels der Kieler Förde.

---

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde**

**der hohen philosophischen Fakultät**

**der Königlichen Christian-Albrechts-Universität zu Kiel**

vorgelegt von

**Karl Meier**

aus Flensburg.



**Kiel 1913.**

Druck: Heider Anzeiger, G. m. b. H., Heide.

Referent: Prof. Dr. Leonhardt Schultze-Jena.

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Juli 1912.

Kiel, den 13. Juli 1912.

Zum Druck genehmigt:

**Dr. C. Harries,**  
z. Zt. Dekan.

In Liebe meiner Mutter,  
in Verehrung meinem guten Vater  
dankbar gewidmet.

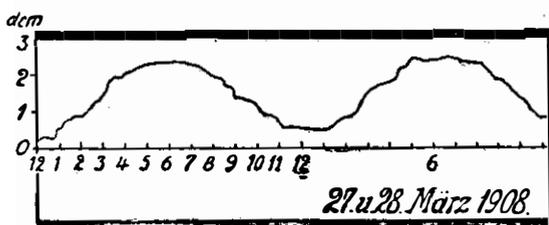


Die Kenntnis der Wasserbewegungen in der Ostsee hat sich erst seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts allmählich entwickelt. Einen Grund hierfür darf man ohne Zweifel in der Tatsache sehen, daß in diesem Meeresbecken die Gezeiten gar keine oder doch nur teilweise sehr geringe praktische Bedeutung haben. Die Forscher in der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts waren sich nicht darüber einig, ob man in der Ostsee überhaupt von Gezeiten reden könnte. Indessen sind in den letzten Jahrzehnten diese Zweifel endgültig beseitigt und zwar an der Hand der Aufzeichnungen von Pegeln, die an verschiedenen Orten der deutschen Ostseeküste, wie in Kiel, Marienleuchte, Travemünde, Wismar, Warnemünde, Arkona, Swinemünde, Pillau und Memel und weiter an der schwedischen und finnischen Küste, beispielshalber seien hier Björn und Hangö genannt, aufgestellt sind. Für eine größere Anzahl der obengenannten Orte sind bereits die Pegelaufzeichnungen analysiert worden. Die Resultate bestätigen dann immer wieder die Tatsache, daß trotz ihrer geringen Größe die Gezeitenwelle überall wahrzunehmen ist. Sie wird aber oft von anderen stärkeren, unperiodischen Schwankungen des Wasserspiegels überlagert und ihre Wirkung vielfach durch Einflüsse meteorologischer Art herabgeschwächt. Es soll nun der Versuch gemacht werden, für Kiel die Wasserstandsregistrierungen in ähnlicher Weise wie es für mehrere der erwähnten Orte geschehen ist, zu analysieren.

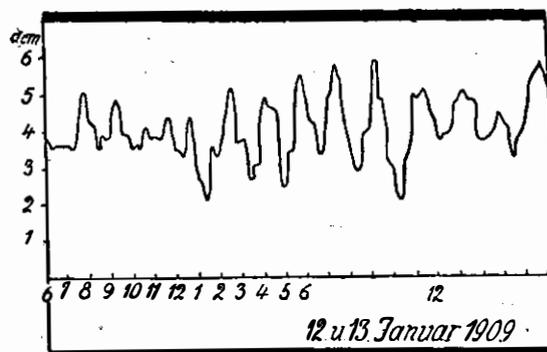
Das Material, auf dem die nachstehenden Betrachtungen fußen, bilden die Aufzeichnungen des Flutmessers in Kiel. Dieser Flutmesser ist am Ostufer des Hafens auf dem Gelände der Kaiserlichen Werft in Gaarden aufgestellt und befindet sich im Besitze derselben. Der frühere elektrische Flutmesser ist vor reichlich vier Jahren einem selbstregistrierenden Luftdruckpegel gewichen, welcher letzterer im folgenden kurz skizziert sei. In einem Brunnen bewegt sich nicht, wie im allgemeinen üblich, der Schwimmkörper selbst. An seiner Statt ist dort vielmehr eine feststehende Taucherglocke angebracht, von der ein Bleirohr ausgeht und zu einem mit Quecksilber gefüllten Kommunikationsrohr führt, in dessen freien Schenkel auf der Oberfläche des Quecksilbers erst der Schwimmer sich befindet. Schwankt die Oberfläche des Wassers in dem Brunnen hin und her, so führt die in der Taucherglocke und dem Leitungsrohr befindliche Luft dieselben Bewegungen aus. Die Luftsäule überträgt diese Bewegungen auf das im Kommunikationsrohr vorhandene Quecksilber und somit auf den Schwimmer derart, daß einem Steigen des Wassers im Brunnen eine Aufwärtsbewegung des Schwimmers und umgekehrt, einem Fallen des Wassers ein Sinken des Schwimmers entspricht. Von dem Schwimmer aus wird nun in der gewöhnlichen Weise die Bewegung auf einen Zeiger übertragen und von diesem auf Koordinatenpapier. Eine derartige Anordnung der einzelnen Teile des Flutmessers hat eine bequemere Handhabung desselben ermöglicht. Der Brunnen mit der Taucherglocke befindet sich am Ufer, das Kommunikationsrohr mit Schwimmer und Registriertrommel in einem entfernter liegenden Gebäude; die Verbindung zwischen beiden stellt das oben erwähnte Leitungsrohr her.

Die Auswechselung des Millimeterpapiers geschieht etwa alle acht Tage. Der neue Papierstreifen wird auf der rotierenden Trommel so angebracht, daß eine vorher eingezeichnete Nulllinie mit dem Nullpunkt einer auf der Trommel befindlichen Skala übereinstimmt. Diese Skala ist bezogen auf Kieler Null, einem Wert, der, wie sich aus den Notierungen der Kaiserlichen Werft ergab, als 0,277 m unter Normal-Null liegend angenommen wird. Auf dem Millimeterpapier ist die Höhe als Ordinate, die Zeit als Abszisse in der Weise verzeichnet, daß 1 mm gleich 2 cm Wasserhöhe, resp. gleich 20 Minuten der verflossenen Zeit ist. Die Flutkurven sind in Abschnitten von der Größe eines Monats zusammengestellt und zwar beginnt die Kurve 12 Uhr nachts und endet zur selben Zeit. Am Ende eines jeden Abschnittes ist das Mittelwasser angegeben, ein Wert, der demnach als Monatsmittel zu betrachten ist. Auf den Mareogrammen sind neben der Flutkurve noch zwei weitere Kurven verzeichnet, die der Windrichtung und Windstärke. Die Beobachtungen hierfür werden auf der Werft selbst nicht gemacht, sondern es werden der Werftverwaltung die diesbezüglichen Aufzeichnungen der Königlichen Sternwarte in Kiel zur Verfügung gestellt, und die genannten Kurven dann nachträglich erst in die Mareogramme eingezeichnet.

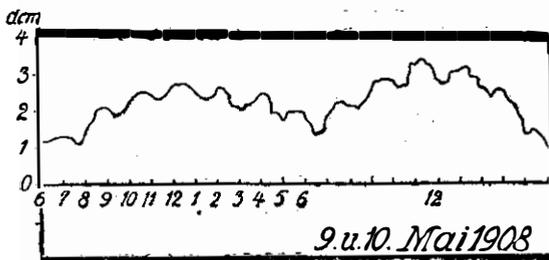
Um sich ein Bild von dem Aussehen der Mareogramme machen zu können, sind in Fig. 1 bis Fig. 4 Proben eines solchen wiedergegeben.



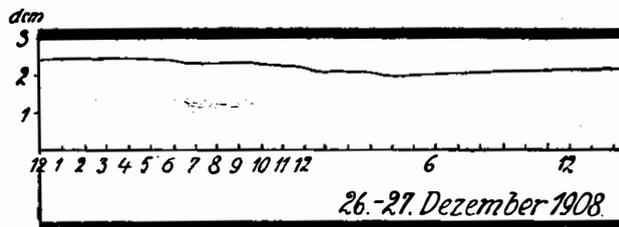
Figur 1.



Figur 3.



Figur 2.



Figur 4.

**Die Kurvenstücke sind in der Größe des Mareogramms wiedergegeben.**

Diese Abbildungen stellen Kurvenstücke dar, wie sie für das Aussehen der Pegelaufzeichnungen charakteristisch sind. Fügt man die dargestellten Kurven in den mannigfaltigsten Variationen aneinander, und vergegenwärtigt man sich noch, daß starke Winde und sonstige Einflüsse oft in einem Zeitraum von mehreren Tagen nur einen Wellenberg und ein Wellental

verzeichnen lassen, so kann man sich etwa ein Bild von der Flutkurve machen. Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß man dieses Aussehen nicht als einheitlich bezeichnen kann. Aus den beigegeführten Abbildungen Fig. 1 bis 4 kann man aber klar erkennen, daß zwischen zwei typischen Bewegungsarten zu unterscheiden ist. Fig. 1, 2 und z. T. auch Fig. 4 gleichen einander darin, daß sie deutlich ein regelmäßiges Auf- und Abgehen des Wassers verzeichnen. Bewegungen dieser Art durchziehen das ganze Mareogramm und treten je nach der Stärke der Störungen mehr oder minder deutlich hervor. Man kann in ihnen die periodischen Schwankungen des Wasserspiegels sehen, die von der Gezeitenwelle hervorgerufen werden. Fig. 2 und 3 hingegen verzeichnen Schwankungen, deren Registrierungen sich der ganzen Kurve in Form von Zacken aufsetzen und ihr das Aussehen einer Säge verleihen. Diese Art von Bewegungen sind zwar sehr häufig, fehlen aber, siehe Fig. 1 und 4, oftmals ganz und treten, wenn sie registriert werden, in Gruppen von verschiedener Größe auf, die in keinem bestimmten Intervall wiederkehren. Man kann sie ansprechen als stehende Schwingungen des Kieler Hafens oder eines seiner Teilbecken, wie sie in ähnlicher Weise für verschiedene andere Buchten bekannt sind.

## I. Periodische Schwankungen.

Auf Grund der Flutmesseraufzeichnungen hat sich ergeben, daß die Gezeitenbewegung der Meeresoberfläche sich nirgends auf der Erde als eine einfache Wellenbewegung erkennen läßt. Aus den Wasserstandsaufzeichnungen irgend eines Zeitraumes lassen sich diese komplizierte Wellenbewegung zusammensetzenden einfachen Wellen aber berechnen. Theoretisch hat man die Gesamtwellen in etwa 100 solcher einzelnen Wellen oder Gezeiten zerlegt, deren jede als durch einen besonderen Satelliten entstanden gedacht werden kann. Ferner hat man gefunden, daß für verschiedene Beobachtungsstationen sich immer dieselbe gleiche Anzahl Teiltiden von entsprechendem Charakter ergibt, und daß für mehrere Jahre desselben Ortes nicht nur in der Amplitude, sondern auch in der Größe der Epoche eine Übereinstimmung besteht. Unter der Epoche versteht man die Zeitdifferenz, die verstreicht zwischen dem Meridiandurchgang des fluterzeugenden Gestirns bis zum nächsten Wellenberg der zu diesem Gestirn gehörenden Teiltide. Man nennt diese beiden Größen, die Amplitude und die Epoche, welche letztere gewöhnlich in Winkelgraden angegeben wird, „die harmonischen Konstanten“ der betreffenden Tide. Um die Partialtiden zu unterscheiden, bezeichnet man sie mit den Buchstaben des Alphabets. Die Indices derselben geben an, ob die Periode 1, 2, 3 . . . 8 mal an einem Sonnentage wiederkehrt. Die Zeichen der Eintagstiden führen, falls eine Verwechslung nicht vorkommen kann, in der Regel keinen, die der Wellen mit noch größerer Periode hingegen nie einen Index.

### Die angewandte Methode.

Der Arten der „harmonischen Analyse“, der Methode, die genannten Konstanten zu finden, sind verschiedene bekannt. So z. B. werden nach einer solchen<sup>1)</sup> für jede Sonnenstunde

<sup>1)</sup> Harris, Manual of Tides II. Seite 567.

die Wasserhöhen abgelesen, für eine Reihe aufeinanderfolgender Tage für jede Stunde addiert, und die Summe durch die Anzahl der Tage dividiert. Die so erhaltenen Mittelwerte stellen den Verlauf einer der einfachen Wellen dar. Je nach der Phase des die gesuchte Partialtide erzeugenden Gestirns werden die Wasserstände in bestimmter Weise abgelesen. Aus den jeweiligen Mittelwerten ergeben sich dann die harmonischen Konstanten. Ein anderes Mal wird die bei der Bildung der stündlichen Mittelwerte benutzte Anzahl Tage gleich 30, nämlich der Dauer eines Monats, gesetzt. Dieses geschieht auf Grund der Erwägung, daß die Mondtiden sich dann ganz oder doch nahezu eliminieren, und sich die Mittel hauptsächlich nur noch als Funktionen der Sonnentiden darstellen. Mit Hilfe einiger Rechenoperationen berechnet man eine Reihe von Koeffizienten und findet aus diesen die Konstanten der einzelnen Tiden. Anstatt der stündlichen Wasserstände setzt ein weiteres Verfahren drei tägliche Beobachtungen in gleichen Zeiträumen von einander voraus, schlägt im wesentlichen dann aber den zuletzt angeführten Gang ein. Schließlich sei ein Weg, die harmonischen Konstanten zu finden, noch erwähnt, der sich mit zweimal täglich registrierten Wasserständen begnügt, dem täglichen Maximal- und Minimalwert.

Zur Ermittlung der in der vorliegenden Arbeit für Kiel angegebenen Werte wurde eine Methode verwendet, der Börgen in einer 1894 veröffentlichten Abhandlung<sup>1)</sup> folgende Erwägung zu Grunde legt: Bildet man an einer Reihe von  $n$  aufeinanderfolgenden Tagen die Summe der stündlichen Wasserstände, so enthält diese Summe das  $n$ -fache der Sonnentiden und die Summe des Einflusses der anderen Tiden. Da nun aber nur die Sonnentiden zu gleicher Tagesstunde gleiche Phasen haben, die Phase der übrigen Gezeiten sich aber ändert, so wechselt ihr Einfluß mit der Größe von  $n$ . Für jede Tide läßt sich ein bestimmter Wert für  $n$  finden, wo ihr Einfluß ein Maximum darstellt, der der übrigen Tiden mehr oder minder abgeschwächt wird. Wählt man nun zwei Gruppen von je  $n$ -Tagen so, daß in der einen ein positives, in der anderen ein negatives Maximum vorhanden ist und bildet von beiden die Differenz der stündlichen Wasserstandssummen, so erhält man schließlich eine Reihe von 24 Werten, in denen die Wirkung der gesuchten Tide verdoppelt ist, während die der Sonnentide ganz verschwindet und der Einfluß der übrigen noch weiter abgeschwächt wird. Aus dieser Reihe der 24stündlichen Wasserstände, die den Gang der Partialtide an einem mittleren Sonnentage darstellen, berechnet Börgen mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate die gesuchten Konstanten der Tide.

Diese beschriebene Methode ist aber nur anwendbar, so lange es sich um eine Tide handelt, deren Periode die Dauer eines Sonnentages nicht übersteigt. Deshalb wurde, um die Konstanten einer langperiodischen Gezeit ableiten zu können, zurückgegriffen auf ein älteres, ebenfalls von Börgen erfundenes Verfahren. In seiner 1884 veröffentlichten Abhandlung<sup>1)</sup> geht Börgen von der Überlegung aus, daß die Gezeiten mit langer Periode aufgefaßt werden können als Schwankungen des täglichen Mittelwassers. Subtrahiert man nun von den Tagesmitteln das

<sup>1)</sup> Börgen, Über eine neue Methode, die harmonischen Konstanten der Gezeiten abzuleiten. Annalen der Hydrographie 1894.

<sup>1)</sup> Börgen, Die harmonische Analyse der Gezeitenbeobachtungen. Annal. d. Hydr. 1884.

Jahresmittel, so wird die Reihe der Differenzwerte nur noch die Tide mit langer Periode enthalten. Jeder der 365 Differenzwerte ist aber eine Funktion der  $\sin$  und  $\cos$  der Tidenargumente. Die Methode der kleinsten Quadrate hilft auch hier die Koeffizienten dieser Funktionen ermitteln und führt von diesen dann zu den harmonischen Konstanten.

### Verlauf der Rechnung.

Wie aus Tabelle I ersichtlich ist, wurden bei der Berechnung die in den Jahren 1908 und 1909 gemachten Wasserstandsaufzeichnungen verwendet. Die registrierten Mareogramme weisen nun keine fortlaufende Kurve auf. Durch Störungen irgendwelcher Art, vielleicht durch Nichtfunktionieren des Pegels sind in der den jeweiligen Wasserstand verzeichnenden Kurve Lücken entstanden, die die Aufzeichnung für mehrere Stunden oder Tage, oft aber auch auf die Dauer von zwei bis drei Wochen unterbrechen. Es wurde zwar bei der Auswahl der zu behandelnden Flutkurven Wert darauf gelegt, daß diese Lücken nicht allzu häufig auftraten. Trotzdem war eine ganze Anzahl davon vorhanden, und weil die Methode eine lückenlose Aufeinanderfolge von Beobachtungen voraussetzt, so mußten diese Lücken ausgefüllt werden. Es geschah das auf folgende Weise. Zunächst wurde eine Reihe von Jahrgängen durchblättert und aus ihnen mehrere regelmäßig verlaufende Kurvenstücke herausgesucht und zwar nur solche, die bei ruhigem Wetter registriert waren. Diese einzelnen Kurven wurden mit einander verglichen und unter Berücksichtigung der Zeit und der Mondphase wurde dann eine Kurve konstruiert, die kurz Normalkurve genannt sei. Mit dieser Normalkurve wurden die Lücken ausgefüllt und zwar derart, daß die Enden so aneinandergesetzt wurden, wie der Verlauf beider, der vom Pegel registrierten Kurve als auch der der Normalkurve es wünschenswert erscheinen ließen. Es erübrigt sich, darauf hinzuweisen, daß auch hier Zeit und Mondphase nicht unberücksichtigt blieben. Von der so korrigierten Kurve wurde abgelesen. Es darf hier nicht unerwähnt bleiben, daß mehrere Male, wenn die Flutkurve ein dem in Fig. 4 wiedergegebenen Stück ähnliches Aussehen hatte, man den Eindruck haben könnte, als handle es sich um ein mangelhaftes Funktionieren des Pegels. Weil aber mitunter an solchen Stellen doch noch kleinere Ausschläge verzeichnet waren und Kurven von der Art der Fig. 4 nicht selten vorkamen, wurden die in Betracht kommenden Kurvenstücke unkorrigiert gelassen. Beim Ablesen der Flutkurve des Jahres 1908 wurde es versucht, Störungen nach Art der in Fig. 3 registrierten Ausschläge etwas dadurch zu eliminieren, daß nicht die aufgezeichnete Kurve selbst abgelesen wurde, sondern daß man sich ein Mittel konstruierte aus den durch die Ausschläge geschaffenen Maximalwerten. Das Mareogramm 1909 wurde ohne derartige Korrekturen benutzt.

Aus dem weiteren Verlauf der Rechnung dürfte zunächst die Beschreibung der Bildung des sogenannten Summenverzeichnisses von Interesse sein. Es wurden hierfür die Wasserstände zu den einzelnen Tagesstunden aus dem Mareogramm abgelesen, die 24 Werte für je einen Tag in eine Reihe und diese Reihen untereinander geschrieben. Die einzelnen Zahlen einer Horizontalreihe wurden mit den entsprechenden, den Wasserstand für die jedesmalige Tagesstunde angegebenden Zahlen der folgenden Reihe summiert und zwar so, daß in jeder

Horizontalreihe die 24 Zahlenwerte für jede Stunde die Summen der Wasserstände an den vorhergehenden Tagen bildeten. Dieses Schema oder, um mit Börgen zu sprechen, Summenverzeichnis war für alle Tiden von kurzer Periode ohne Ausnahme brauchbar. Es brauchten nur für jede Tide besonders die schon erwähnten zwei Gruppen von  $n$  Wasserstandssummen herausgesucht zu werden, um die Differenz der Summen beider bilden zu können. Diese Differenz nennt Börgen  $Dt$  und will in dem Verlauf der einzelnen Werte der Reihe den Verlauf der gesuchten Teiltide an einem Sonnentage erkennen können. Bei den dieser Arbeit zugrunde liegenden Berechnungen war dieses nun nicht möglich. Zeichnete man die Werte auf Millimeterpapier auf, so ergab sich eine Kurve, die zwar schwach den Verlauf der Tide erkennen ließ, im übrigen aber sehr unregelmäßig verlief und größere Ausschläge aufwies, die den vom Pegel registrierten, in Fig. 3 abgebildeten Zacken zu vergleichen waren. Es ist dieses, um eine Erklärung hier schon zu bringen, ohne Zweifel zurückzuführen auf die geringe Größe der Gezeitenwelle, ihre demgemäß herabgeschwächte Wirkungskraft und die infolgedessen sich stärker bemerkbar machenden Einflüsse anderer Art. Je nachdem die Tide halb- oder ganztägig war, wurden die Werte der  $Dt$ -Reihe verschieden miteinander kombiniert. Die schließlich resultierenden Zahlen wurden mit dem  $\cos$  resp.  $\sin$  des Arguments der betreffenden Tide multipliziert und ergaben dann nach einigen kleineren Rechenoperationen zwei Koeffizienten,  $A$  und  $B$  genannt, aus denen man bald die gesuchten Größen, den Wert für die Amplitude und die Epoche finden konnte.

Es darf hier nicht vergessen werden, daß ein Hilfsmittel der Methode bei der Ausführung der Rechnung nicht zur Anwendung kam. Bei der Summierung der Werte für die einzelnen Wasserstände wird es sich bald ergeben, daß die Summenzahl drei bis vier Stellen vor dem Komma hat. Hier nun gibt Börgen an, die vierte Zahl ganz fortzulassen, und die dritte nur dann mitzuführen, wenn es sich um die Ausrechnung der  $M_2$ -Tide handelt. Ebenso sollte, wenn der Gang der  $Dt$  es erforderte, bei der letzten Subtraktion, die zur Bildung dieser Zahlenreihe führt, die kleinere Zahl um 100, bei  $M_2$  um 1000 vergrößert werden. Es wurde die Rechnung zunächst mit diesem Hilfsmittel durchgeführt; sie ergab aber Größen für die Konstanten der Tiden, die auf Geltung nur sehr geringen Anspruch machen konnten. Durch Wiederholung der Rechnung unter Fortlassung dieses Hilfsmittels sind die wiedergegebenen Werte gefunden. Auch für das Nichtgelingen der Rechnung nach der vorgeschriebenen Methode mag man den Grund in der geringen Größe und der dadurch geschwächten Wirkungskraft der Gezeitenwelle erblicken.

Um die Werte für die langperiodische Tide  $M_m$  zu finden, mußten zunächst die Tagesmittel berechnet werden und zwar, weil die Methode es erforderte, für den Zeitraum eines Jahres. Aus diesen 365 Werten und dem Jahresmittel wurden die Differenzen gebildet und diese einzelnen  $2h$  mit dem  $\cos$  resp. dem  $\sin$  des Arguments der Tide multipliziert. Für diese Multiplikation wurde ein Schema hergestellt, Börgen bezeichnet es mit  $F$ , worin je nach der im Laufe des Jahres sich ändernden Mondphase, die  $\sin$  und  $\cos$  in zehn Kolonnen eingetragen wurden als Näherungswerte an die Zahlen 0,1, 0,2 . . . 1,0. Nach einem weiteren, von Börgen für alle Tiden mit langer Periode angegebenen Schema, Schema D in der Abhand-

lung von 1884, ergaben sich eine Anzahl von Koeffizienten, mit Hülfe deren man sehr leicht die beiden harmonischen Konstanten der gesuchten Tide fand.

Korrekturen, um die Konstanten einer Tide noch von dem etwa bestehenden Einfluß der anderen Partialtiden zu befreien, wurden nicht berechnet. Die gefundenen Zahlenwerte sind von zu geringer Größe, als daß diese Korrekturen das Resultat hätten ändern können.

### Ergebnisse der Rechnung.

In der Tabelle I sind die für die Partialtiden der Gesamtwellen in Kiel ermittelten Werte zusammengestellt.

Tabelle I.

	Eintägige Tiden.				Halbtägige Tiden.				
	Hmm		$\alpha^0$		Hmm		$\alpha^0$		
	1908	1909	1908	1909	1908	1909	1908	1909	
$S_1$	10,8	6,4	349 <sup>0</sup>	329 <sup>0</sup>	$S_2$	8,8	12,7	121,9 <sup>0</sup>	130 <sup>0</sup>
$K_1$	16,2	29	190 <sup>0</sup>	219 <sup>0</sup>	$M_2$	38,3	37,2	199 <sup>0</sup>	238 <sup>0</sup>
P	19	12,4	240 <sup>0</sup>	239 <sup>0</sup>	$K_2$	6,6	1,5	100,86 <sup>0</sup>	99,78 <sup>0</sup>
O	26,9	38,1	98 <sup>0</sup>	171 <sup>0</sup>	$N_2$	8,4	8,2	240 <sup>0</sup>	295,8 <sup>0</sup>

### Tide mit langer Periode.

1908	Hmm	$\alpha^0$
Mm	9,2	235 <sup>0</sup>

Die hierin wiedergegebenen Zahlen sind nach den beschriebenen Methoden ausgewertet mit Ausnahme der Konstanten der Tide  $N_2$ . Diese Größen sind berechnet nach einer Relation, wie Wegemann sie 1907 angegeben hat in einer Abhandlung über die Gezeiten des Mittelländischen Meeres.<sup>1)</sup> Er findet, daß für  $N_2$  ist:  $H = 0,22 M_2$  und  $K = M_2^0 - 0,536 (S_2^0 - M_2^0)$ .

Vergleicht man die für die Konstanten aus den Mareogrammen 1908 bzw. 1909 gefundenen Werte, so wäre zunächst von den Amplituden zu sagen, daß diese verhältnismäßig wenig übereinstimmen. Gleichen sich in beiden Jahren die Amplituden der  $M_2$ -Welle auch nahezu, so gehen die der anderen Tiden mehr oder weniger auseinander. 1908 beträgt die  $K_2$  Amplitude mehr als das vierfache wie im Jahre 1909. Etwas besser passen die  $\alpha$ -Zahlen zusammen. Ist die Differenz derselben bei der O-Tide am größten, und gehen sie bei den übrigen nicht sehr weit auseinander, so stimmen sie bei der P-Welle und der eben erwähnten Tide  $K_2$  nahezu überein.

<sup>1)</sup> Wegemann, Beiträge zu den Gezeiten des Mittelländischen Meeres. Annal. d. Hydr. 1907.

Die nächste Zusammenstellung der Resultate in Tabelle II gibt die Relationen an, durch die im allgemeinen der Verlauf der Gezeiten eines Ortes bestimmt wird.

Tabelle II.

	I $M_2 + S_2$ mm	II $K_1 + O_1$ mm	III I + II mm	IV II : I	V $S_2 : M_2$	VI $S_2^0 - M_2^0$	VII O : $K_1$	VIII $K_1^0 - O_1^0$
1908	47,13	43,13	90,26	0,91	0,23	— 77,16°	1,66	92°
1909	49,91	67,03	116,94	1,34	0,34	— 107,69°	1,31	48°

In der Kolonne I ist die Amplitude der Halbtagswelle, in II die der Eintagstiden angegeben. Kolonne III bietet somit einen Maßstab für die Gesamtintensität. Die Hubhöhen der Springtiden findet man durch Verdoppelung der Werte in I und II, die der Nipptiden aus den Beziehungen  $2(M_2 - S_2)$  resp.  $2(O - K_1)$ . Aus der Kolonne IV ist zu erschen, welchen Charakter die Gesamtwelle trägt, ob sie eintägig, halbtägig oder gemischt ist. Liegt das Verhältnis der bei den Amplituden zwischen 0,0 bis 0,25, so spricht man von Halbtags-, zwischen 0,25 und 1,25, eventuell 1,50, vom gemischten Gezeitentypus. Ist das Verhältnis größer als 1,5, so bezeichnet man den Typus als eintägig. Auch kann man aus diesem Verhältnis auf die tägliche Ungleichheit schließen. In der Kolonne V ist das Verhältnis der halbtägigen Somentide zur Mondtide ausgedrückt; es ergibt sich hieraus die halbmonatliche Ungleichheit. Teilt man in Kolonne VI die Anzahl der Grade durch 24,3815°, oder, was dasselbe ist, multipliziert man sie mit 0,041, so erhält man die Verfrühung oder Verspätung der Springflut der Halbtagswelle ausgedrückt in Tagen. Mit VII und VIII lassen sich die gleichen Fragen für die Haupteintagstiden beantworten. Die Verfrühung oder Verspätung der Springflut von der Amplitude  $2(O + K_1)$  erhält man durch Multiplikation des Wertes in VIII mit 0,038. Doch ist hierbei darauf Rücksicht zu nehmen, daß nur die Tide O von dem einen der beiden fluterzeugenden Gestirne abhängig ist, während  $K_1$  beiden, sowohl der Sonne als auch dem Monde seine Entstehung verdankt.

Danach würde sich zunächst aus der Kolonne IV ergeben, daß in Kiel die Gezeiten dem gemischten Typus angehören, ja stark zum Eintagstypus neigen. Würde hier nicht 1,5 sondern, wie es sehr oft der Fall ist, 1,25 als Grenzwert des Verhältnisses  $(K_1 + O) : (S_2 + M_2)$  angenommen, so müßte man sogar für das Jahr 1909 die Gezeiten als eintägig bezeichnen. Die große Differenz der beiden Zahlen in IV ist nur daraus zu erklären, daß die in Betracht kommenden Eintagstiden  $K_1$  und O für 1909 beide erheblich größere Amplituden aufweisen als im Vorjahre, während es für  $K_2$  gerade umgekehrt der Fall ist. So ist für O das Größenverhältnis der Amplituden 1908 und 1909 fast 2 : 3, für  $K_1$  etwa 4 : 7, wo hingegen 1909 die Höhe von  $K_2$  um mehr als  $\frac{3}{4}$  kleiner ist als 1908. Die übrigen Tiden sind, wo ihre Werte sich um größere Beträge unterscheiden, weniger bedeutend, als daß ihr Einfluß von Wichtigkeit sein könnte. Für die Halbtagswelle ist der Springtidenhub  $2 \cdot 47,13 \text{ mm} = 94,26 \text{ mm}$  oder im Jahre 1909  $2 \cdot 49,91 \text{ mm} = 99,82 \text{ mm}$  und der Nipptidenhub 58,98 mm bzw. 49,1 mm. Diese Zahlen stellen Werte dar, bei denen die der Spring-

tiden einander sehr nahe kommen. Der größere Unterschied zwischen den Nipptiden der beiden Jahre kommt daher, daß  $S_2$  wächst, wo  $M_2$  zur selben Zeit abnimmt. Der Springtidenhub der Haupteintagszeiten ist 86,26 mm resp. 134,06 mm, der Nipptidenhub derselben Welle 1908  $2 \cdot 10,7 \text{ nun} = 21,4 \text{ nun}$  und 1909 gleich  $2 \cdot 9,13 \text{ mm} = 18,26 \text{ mm}$ . Der besonders große Unterschied zwischen den Höhen der einzelnen Springtiden ist eine Folge davon, daß in dem einen Jahre die Eintagstiden so stark hervortreten, während die geringe Größe der Nipptiden daher kommt, daß  $K_1$  und  $O$  in ihrer Amplitude nicht sehr auseinandergehen. Der Unterschied in den vorher genannten Partialtiden erscheint noch einflußreicher, wenn man berücksichtigt, daß im Juli und Dezember die Eintagswelle durch die Tide  $P$  verstärkt, im März und September dagegen verringert wird, während hingegen gerade in diesen Monaten die  $K_2$  Tide ihre größere Wirkungskraft besitzt. Es würde demgemäß in den Monaten Dezember und Juli der Eintagsspringtidenhub sich vergrößern auf 126,16 mm bzw. 158,82 mm, um somit die Differenz zwischen den Hubhöhen beider Jahre herabzumindern. Die Nipptiden in den entsprechenden Monaten, im März und September, erscheinen dann sehr gering, da der doppelte Wert der  $P$ -Amplitude schon den Wert, der für die Nipptiden gefunden ist, überschreitet. Weil nun die in den letztgenannten Monaten besonders wirksame  $K_2$  Tide infolgedessen stark zur Geltung kommen wird, ist der Unterschied, den die Amplitude dieser Tide in beiden Jahren aufweist, um so fühlbarer und liefert im Gesamtverhältnis den für die Eintagstiden günstigeren Wert. Für die Tatsache, daß in den Monaten März und September die Halbtagswelle infolge der vorhandenen geringen Größe der Eintagszeiten stark hervortritt und oft, zur Zeit der Eintagsnipptiden etwa, das ganze Gezeitenphänomen beherrscht, spricht auch die registrierte Kurve, wie das in Fig. 1 wiedergegebene Stück deutlich zeigt. In mehr oder weniger guter Weise läßt die gleiche Tatsache sich aus dem Marcogramm 1909 und denen anderer Jahre erkennen. Nun wäre noch das Alter der Gezeiten festzustellen. Es berechnet sich für die Halbtagswellen auf 3 Tage 4 Stunden, respektive 4 Tage 10 Stunden für 1909, und zwar geben diese Zahlen eine Verfrühung der betreffenden Springfluten an. Bei den Eintagswellen tritt hingegen eine Verzögerung ein, und zwar 1908 um  $3\frac{1}{2}$  Tage, 1909 aber nur um einen Tag 20 Stunden.

Die langperiodischen Gezeiten sind nur durch die monatliche Mondtide  $M_m$  vertreten. Es wurden die Konstanten gerade dieser Tide ausgewertet, weil in einer Zusammenstellung vorhandener Resultate  $M_m$  am meisten ausgeprägt zu sein schien.<sup>1)</sup> Aus dem für Kiel ermittelten Werte  $H = 9,17 \text{ mm}$ , einer Amplitude, die kaum einen Zentimeter ausmacht, rückschließend auf die Größe der andern Tiden mit langer Periode, wurde davon Abstand genommen, weitere Rechnungen anzustellen. Denn man darf mit einiger Sicherheit annehmen, daß eine Amplitude von so geringer Größe, die in relativ großer Periode erst wiederkehrt, durch die Wirkung anderer Kräfte, z. B. der des Windes, fast gänzlich unterdrückt wird.

Es muß hier noch wieder darauf eingegangen werden, daß beim Ablesen des Marcogramms 1908 versucht wurde, Ausschläge nach Art der Fig. 3 zu eliminieren. Wollte man die Frage, ob die Ergebnisse für das Jahr 1908 besser seien als für 1909, mit einem kurzen Ja

<sup>1)</sup> H a r r i s, Manual of Tides.

oder Nein abtun, so wäre das wohl kaum möglich. Denn es gehen die Resultate beider Jahre nach den verschiedensten Richtungen auseinander und man kann nicht etwa sagen, die Eintags-tiden sind in einem Jahre größer als im andern, die Halbtagswellen geringer. Eine besondere Gesetzmäßigkeit läßt sich nicht erkennen. Ebenso sind die vorerwähnten Unregelmäßigkeiten, die sich bei der Aufstellung der Dt-Reihe fanden, in beiden Jahren gleich groß. Ist die Frage vielleicht auch nicht zu verneinen, so muß sie wenigstens als unentschieden angesehen werden.

Nach alledem wäre somit die Schlußfolgerung gegeben, daß bei der geringen Größe der Gezeitenwelle, wie Tabelle II Kolonne I—III sie dartun, und bei ihrer infolgedessen schwachen Wirkungskraft man mit einer einigermaßen hinreichenden Übereinstimmung nur rechnen kann, wenn man die Resultate eines größeren Zeitraumes, vielleicht des von 10 bis 15 Jahren, zusammenstellt. In dem der Beobachtung unterzogenen, an und für sich nicht kleinen Zeitraum von zwei Jahren lassen sich aber die Einflüsse meteorologischer Art nicht genügend erkennen und ausscheiden. Ebenso überwiegt die Wirkung vorhandener stehender Wellen sehr oft die der Gezeiten. Wie sehr diese Einflüsse die Ergebnisse beeinträchtigen können, veranschaulicht mau sich am besten, wenn hier noch einmal auf die mehrfach erwähnten Schwierigkeiten, die bei der Durchführung der Rechenmethode sich einstellen, verwiesen werden darf; es sei z. B. nur erinnert an den unregelmäßigen Verlauf der Werte der Dt-Reihe. Immerhin kann man als erwiesen hinstellen, daß in Kiel der Charakter der Gezeiten dem gemischten Typus unterzuordnen ist, wenn auch zu gewissen Zeiten des Jahres der Halbtagestypus vorherrscht, und daß die mittlere Hubhöhe mit 70—80 nun angegeben werden kann.

### **Vergleich der für die Ostseetiden bekannten harmonischen Konstanten.**

Wie einleitend bemerkt wurde, sind schon mehrere der an den verschiedenen Beobachtungsstationen der Ostsee gemachten Wasserstandsaufzeichnungen bearbeitet worden. Die angestellten Analysen gehen in der Hauptsache darauf hinaus, die harmonischen Konstanten der einzelnen Tiden zu finden.

Es ist der Versuch gemacht worden, in der Tabelle III die für die Ostseeorte bekannten Werte zusammenzustellen. Wiedergegeben sind hier die Tidekonstanten, die nach den Arbeiten Schweydars für Marienleuchte, Travemünde, Warnemünde, Arkona, Swinemünde, Pillau und Memel in den Jahresberichten des Königlich Geodätischen Instituts veröffentlicht sind.<sup>1)</sup> Die Angaben für die Orte des Bottnischen Meerbusens entstammen einer Arbeit Rolf Wittings: „Der Bottnische Meerbusen in den Jahren 1904 und 1905“.<sup>2)</sup> Zwar findet man in Tabelle III nicht immer die Aufzeichnungen derselben Jahre für die harmonische Analyse benutzt, doch mögen diese Resultate für eine einstweilige Untersuchung genügen. Was die für Kiel ermittelten Werte anbetrifft, so wäre zu sagen, daß die Ergebnisse der Analysen Schweydars dem Verfasser der vorliegenden Arbeit erst bekannt wurden, als die Rechnung schon begonnen war. Die Wahl der den Resultaten dieser Arbeit zugrunde gelegten Mareogramme erfolgte deshalb, weil sie vom

1) Veröffentlichungen des Königlich Preußischen Geodätischen Instituts Nr. 42 u. 45.

2) Finländische hydrographisch biologische Untersuchungen Nr. 2.

Tabelle III.

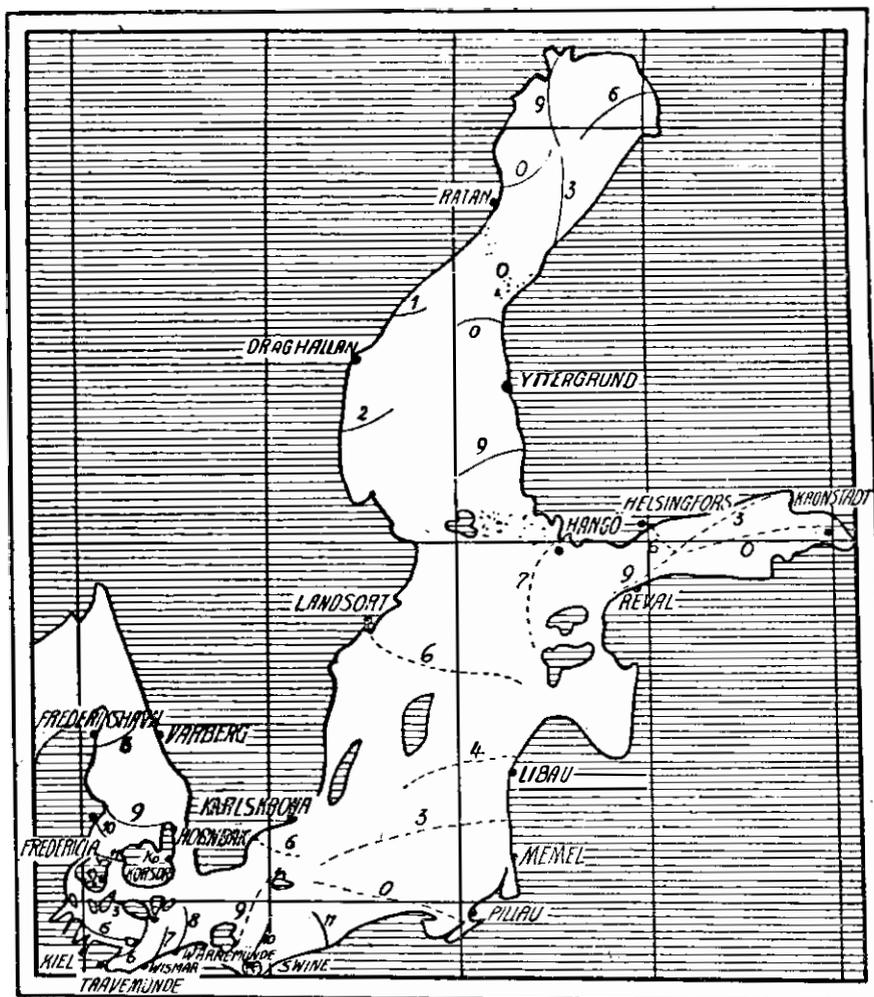
## Harmonische Konstanten der Ostseetiden.

		S <sub>1</sub>		K <sub>1</sub>		P		S <sub>2</sub>		M <sub>2</sub>		K <sub>2</sub>	
		Hmm	z <sup>0</sup>	Hmm	z <sup>0</sup>	Hmm	z <sup>0</sup>	Hmm	z <sup>0</sup>	Hmm	z <sup>0</sup>	Hmm	z <sup>0</sup>
Kiel . . . . .	1908	10,8	349 <sup>0</sup>	16,2	190 <sup>0</sup>	19	240 <sup>0</sup>	8,8	121,9 <sup>0</sup>	38,3	199 <sup>0</sup>	6,6	100,86 <sup>0</sup>
	1909	6,4	329 <sup>0</sup>	29	219 <sup>0</sup>	12,4	339 <sup>0</sup>	12,7	130 <sup>0</sup>	37,2	238 <sup>0</sup>	1,5	99,78 <sup>0</sup>
Marienleuchte	1898	5,5	179 <sup>0</sup>	21,8	218 <sup>0</sup>	3,2	295 <sup>0</sup>	7,2	154 <sup>0</sup>	33,4	167 <sup>0</sup>	2,6	285 <sup>0</sup>
Travemünde . . . . .	1898	5,0	222 <sup>0</sup>	20,2	209 <sup>0</sup>	0,9	319 <sup>0</sup>	13,4	182 <sup>0</sup>	44,0	188 <sup>0</sup>	5,4	290 <sup>0</sup>
	1899	4,6	101 <sup>0</sup>	25,5	195 <sup>0</sup>	5,2	152 <sup>0</sup>	14,7	181 <sup>0</sup>	39,2	192 <sup>0</sup>	0,9	321 <sup>0</sup>
Wismar . . . . .	1898	5,1	249 <sup>0</sup>	19,0	210 <sup>0</sup>	2,9	359 <sup>0</sup>	14,8	176 <sup>0</sup>	37,6	213 <sup>0</sup>	6,8	282 <sup>0</sup>
	1899	2,9	80 <sup>0</sup>	27,3	194 <sup>0</sup>	4,9	348 <sup>0</sup>	13,0	179 <sup>0</sup>	43,6	197 <sup>0</sup>	1,8	23 <sup>0</sup>
Warnemünde . . . . .	1898	2,6	183 <sup>0</sup>	15,2	229 <sup>0</sup>	1,9	307 <sup>0</sup>	8,7	211 <sup>0</sup>	26,4	215 <sup>0</sup>	3,7	297 <sup>0</sup>
	1899	6,1	93 <sup>0</sup>	20,5	211 <sup>0</sup>	5,2	196 <sup>0</sup>	8,4	215 <sup>0</sup>	27,7	217 <sup>0</sup>	1,3	264 <sup>0</sup>
Arkona . . . . .	1898	3,4	15 <sup>0</sup>	12,9	169 <sup>0</sup>	3,3	277 <sup>0</sup>	5,5	262 <sup>0</sup>	9,5	265 <sup>0</sup>	2,1	331 <sup>0</sup>
	1899	6,0	84 <sup>0</sup>	15,3	167 <sup>0</sup>	3,4	168 <sup>0</sup>	4,6	283 <sup>0</sup>	9,5	265 <sup>0</sup>	1,7	302 <sup>0</sup>
Swinemünde . . . . .	1898	5,3	338 <sup>0</sup>	9,6	143 <sup>0</sup>	2,1	268 <sup>0</sup>	2,5	313 <sup>0</sup>	8,4	323 <sup>0</sup>	1,0	293 <sup>0</sup>
	1899	3,6	35 <sup>0</sup>	10,3	159 <sup>0</sup>	3,2	347 <sup>0</sup>	4,2	353 <sup>0</sup>	11,6	328 <sup>0</sup>	1,6	0 <sup>0</sup>
Pillau . . . . .	1898	2,7	82 <sup>0</sup>	3,9	283 <sup>0</sup>	1,2	301 <sup>0</sup>	4,3	46 <sup>0</sup>	6,9	8 <sup>0</sup>	1,5	61 <sup>0</sup>
	1899	2,7	51 <sup>0</sup>	5,3	288 <sup>0</sup>	4,3	264 <sup>0</sup>	3,4	46 <sup>0</sup>	6,2	5 <sup>0</sup>	1,5	87 <sup>0</sup>
Memel . . . . .	1898	2,9	42 <sup>0</sup>	8,3	292 <sup>0</sup>	2,2	326 <sup>0</sup>	4,2	51 <sup>0</sup>	3,5	11 <sup>0</sup>	2,9	79 <sup>0</sup>
	1899	6,0	326 <sup>0</sup>	11,7	292 <sup>0</sup>	8,8	287 <sup>0</sup>	3,7	53 <sup>0</sup>	6,5	40 <sup>0</sup>	1,4	288 <sup>0</sup>
Hangö . . . . .	1904	4,3	229 <sup>0</sup>	6,8	6 <sup>0</sup>	4,4	122 <sup>0</sup>	4,7	244 <sup>0</sup>	13,1	217 <sup>0</sup>	5,4	193 <sup>0</sup>
	1905	—	—	—	—	—	—	—	—	10,0	307 <sup>0</sup>	—	—
Yttergrund . . . . .	1904	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1905	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Björn . . . . .	1904	2,5	329 <sup>0</sup>	6,0	139 <sup>0</sup> ?	5,9	231 <sup>0</sup> ?	4,3	145 <sup>0</sup>	6,9	74 <sup>0</sup>	2,3	99 <sup>0</sup> ?
	1905	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Draghallan . . . . .	1904	3,4	—	5,5	123 <sup>0</sup>	3,2	158 <sup>0</sup>	3,4	118 <sup>0</sup>	7,1	38 <sup>0</sup>	1,3	—
	1905	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ratan . . . . .	1904	1,2	103 <sup>0</sup>	13,8	7 <sup>0</sup>	4,7	346 <sup>0</sup>	1,6	2 <sup>0</sup>	2,5	13 <sup>0</sup>	1,4	112 <sup>0</sup>
	1905	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

neuen, selbstregistrierenden Pegel verzeichnet waren, und vorkommende Lücken ersterwähnter Art in diesen Kurven ziemlich wenig auftraten. Die für die Orte des Bottnischen Meerbusens angegebenen Tidekonstanten bilden Mittel aus den für 1904 und 1905 erhaltenen Werten. Wenn man die Tabelle betrachtet, so geht zunächst dreierlei daraus hervor:

1. Die Gezeiten erreichen in der Ostsee nirgends eine beträchtliche Höhe.
2. Im Laufe der Zeit treten wahrscheinlich Veränderungen der Flutwelle ein, die zur Folge haben, daß auch die harmonischen Konstanten sich ändern und für dieselbe Beobachtungsstation nur selten übereinstimmen.
3. Trotzdem läßt sich erkennen, daß im allgemeinen die Amplitude von Westen nach Osten hin abnimmt, die Epoche hingegen in derselben Richtung wächst.

Figur 5.



Für diese letzte Behauptung ist besonders deutlich das Beispiel der  $M_2$ -Welle. Fügen für Kiel Amplitude und Epoche aller Gezeiten sich auch nicht dieser Regel, und springen für Arkona und abermals für Swinemünde die Kappazahlen der Eintagstiden plötzlich zurück, so lassen bei den beiden letztgenannten Orten die Amplituden derselben Tiden die Regel wieder gelten. Verfolgen wir die Flutwelle von Marienleuchte aus an der Hand der Tabelle III, so könnte man wohl auf ein Entlangschreiten derselben an der deutschen Küste von Westen nach Osten schließen. Sogar die Werte für Hangö würden diese Vermutung bestätigen, sie weisen

aber nicht ohne weiteres hinüber an die schwedische Küste. Liest man umgekehrt wie in der Tabelle III die schwedischen Orte ab, also in der Richtung von Norden nach Süden, so scheinen hier wieder Kappzahlen und Amplituden in derselben Reihenfolge zu wachsen bzw. abzunehmen. Witting geht in der erwähnten Arbeit auf diese Eigentümlichkeiten ein und deutet hin auf einen Verlauf der Gezeitenwelle von Ost-Nord-Ost nach West-Süd-West, gestützt auf einen Wert für  $M_2$  in Yttergrund. Für die Adria hatte man eine ähnliche Bewegung der Gezeiten angenommen, ist aber dann zu dem Resultate gelangt, daß die Welle an der einen Seite des Meerbusens der an dem gegenüberliegenden Ufer entgegenläuft und daß somit eine Amphidromie vorhanden ist. Es fehlt zwar im Norden des Bottnischen Meerbusens eine hinreichende Zahl von Beobachtungen, doch lassen die genannten Eigentümlichkeiten hier ein ähnliches Fortschreiten der Gezeiten vermuten.

Die für  $M_2$  in Fig. 5 eingezeichneten Flutstundenlinien geben wieder, in welcher Zeit die Welle die Entfernungen zwischen den einzelnen Beobachtungsorten durchläuft. Danach stimmen die Hafenzeiten von Hangö und Yttergrund überein, würden auch weiter zu der von Ratan passen. Die Strecke Yttergrund—Ratan würde dann in einer Zeit von reichlich zwei Stunden durchlaufen werden. Die Airysche Formel  $v = 11,3 \sqrt{K}$ ,<sup>1)</sup> wo  $K$  die mittlere Wassertiefe in Metern,  $v$  die Geschwindigkeit der Welle in Kilometer pro Stunde ist, ergibt für  $K = 55$  m<sup>2)</sup> eine Laufzeit, die einem Weg von etwa 184 km entspricht. Nun lehrt ein Blick auf die Seekarte, daß die Tiefe dieser Strecke wesentlich geringer ist, wo aber das Entgegengesetzte der Fall sein müßte. Dieselbe Formel ergibt eine mittlere Wassertiefe von 25 m etwa, wenn man die Entfernung der beiden Orte an der Küste entlang mißt, ein Resultat, das den in nicht erheblicher Entfernung von der Küste auf der Seekarte verzeichneten Tiefen entsprechen kann und somit die Vermutung einer vorhandenen Amphidromie nur noch verstärkt.

Auch Witting hegt diese Vermutung in einer neuen, soeben erschienenen Arbeit.<sup>1)</sup> Doch geht er darauf nicht näher ein, weil die Zahl der Beobachtungen zu gering ist. Hingegen beleuchtet er auf Grund der von ihm durchgeführten harmonischen Analyse für weitere sieben Orte den Verlauf der Flutwelle in der Ostsee. Aus der Betrachtung der Amplituden und Epochen mehrerer Partialwellen,  $K_1$ ,  $O$ ,  $M_2$  und  $S_2$ , schließt Witting, daß mehrere Amphidromieen vorhanden sein müssen. Tabelle IIIa gibt von Witting neu ermittelte Konstanten einiger Tiden wieder, und in Fig. 5 sind die von ihm für  $M_2$  angegebenen Flutstundenlinien durch die punktierten Kurven gekennzeichnet. Die letzteren sind zwar nicht, wie Witting es tut, auf Greenwicher Kulmination bezogen, lassen jedoch jene drei Amphidromieen erkennen, auf die Witting schließt: eine um Bornholm und eine im Finnischen Meerbusen entgegengesetzt dem Uhrzeiger, eine dritte, direkte, weniger ausgeprägte im Zentralbecken.

<sup>1)</sup> Finländische hydr.-biol. Untersuchungen Nr. 2 Seite 210.

<sup>2)</sup> Krümmel, Ozeanographie I Seite 144.

<sup>1)</sup> Tidvattnen i Österjön och Finska Viken af Rolf Witting.

Tabelle IIIa.

	S <sub>1</sub>		K <sub>1</sub>		P		S <sub>2</sub>		M <sub>2</sub>		K <sub>2</sub>	
	Hmm	z <sup>o</sup>	Hmm	z <sup>o</sup>	Hmm	z <sup>o</sup>	Hmm	z <sup>o</sup>	Hmm	z <sup>o</sup>	Hmm	z <sup>o</sup>
Libau . . . . .	6,4	0 <sup>o</sup>	6,0	297 <sup>o</sup>	2,9	6 <sup>o</sup>	2,2	110 <sup>o</sup>	0,9	128 <sup>o</sup>	2,7	128 <sup>o</sup>
Reval . . . . .	7,5	134 <sup>o</sup>	14,7	357 <sup>o</sup>	4,2	40 <sup>o</sup>	1,9	292 <sup>o</sup>	4,1	301 <sup>o</sup>	1,5	255 <sup>o</sup>
Kronstadt . . . . .	10,2	189 <sup>o</sup>	28,0	32 <sup>o</sup>	9,0	50 <sup>o</sup>	11,3	144 <sup>o</sup>	17,1	335 <sup>o</sup>	5,0	102 <sup>o</sup>
Helsingfors . . . . .	3,9	166 <sup>o</sup>	16,7	33 <sup>o</sup>	4,5	36 <sup>o</sup>	1,1	228 <sup>o</sup>	4,4	186 <sup>o</sup>	0,4	152 <sup>o</sup>
Hangö . . . . .	4,3	229 <sup>o</sup>	8,0	35 <sup>o</sup>	4,4	122 <sup>o</sup>	4,7	244 <sup>o</sup>	13,1	217 <sup>o</sup>	3,6	221 <sup>o</sup>
Landsort . . . . .	1,9	323 <sup>o</sup>	7,4	103 <sup>o</sup>	1,3	62 <sup>o</sup>	3,0	199 <sup>o</sup>	8,6	180 <sup>o</sup>	0,7	27 <sup>o</sup>
Karlskrona . . . . .	—		10,7	137 <sup>o</sup>	—		2,6	136 <sup>o</sup>	6,2	119 <sup>o</sup>	—	

Könnte man also den Verlauf der Flutwelle in der Ostsee verfolgen, so bliebe noch die Frage zu beantworten, wie die Welle in dieses Meerbecken kommt. Es sei hierbei zurückgegriffen auf die eben nicht benutzten Tidekonstanten für Kiel und erinnert an das Verhalten der Epochen der Eintagswellen bei Arkona und Swinemünde. Infolge der Lage der dänischen Inseln steht die Ostsee mit dem Außenmeere durch drei Wasserstraßen in Verbindung durch die jedesmal eine Flutwelle in die Ostsee kommen kann. Tabelle IV, Krümmels Ozeanographie entnommen,<sup>1)</sup> führt für Orte dieser Meeresstraßen einige harmonische Konstanten auf.

Tabelle IV.

	K <sub>1</sub>		S <sub>2</sub>		M <sub>2</sub>	
	Hmm	z <sup>o</sup>	Hmm	z <sup>o</sup>	Hmm	z <sup>o</sup>
Frederikshavn . . .	8	282 <sup>o</sup>	34	113 <sup>o</sup>	122	161 <sup>o</sup>
Varberg . . . . .	—	—	10	183 <sup>o</sup>	38	229 <sup>o</sup>
Hornback . . . . .	8	347 <sup>o</sup>	23	224 <sup>o</sup>	68	260 <sup>o</sup>
Kopenhagen . . . .	5	38 <sup>o</sup>	27	250 <sup>o</sup>	60	278 <sup>o</sup>
Aarhus . . . . .	9	80 <sup>o</sup>	42	271 <sup>o</sup>	136	305 <sup>o</sup>
Fredericia . . . . .	8	241 <sup>o</sup>	33	296 <sup>o</sup>	116	335 <sup>o</sup>
Slipshavn . . . . .	9	217 <sup>o</sup>	41	337 <sup>o</sup>	120	2 <sup>o</sup>
Korsör . . . . .	9	228 <sup>o</sup>	33	349 <sup>o</sup>	107	10 <sup>o</sup>
Gjedser . . . . .	16	180 <sup>o</sup>	8	207 <sup>o</sup>	36	192 <sup>o</sup>

Die Welle des Sundes ist erheblich kleiner als die des Beltes; z. B. sei hingewiesen auf die M<sub>2</sub> Amplitude bei Kopenhagen und Korsör. Wird also die letztere einen überwiegenden Einfluß in der Ostsee ausüben, so darf man infolge der geographischen Lage um so mehr annehmen, daß nur die Beltwelle für Kiel in Betracht kommt. Es passen auch die Hafenzeiten von Kiel und Korsör gut zusammen. Nun erreichen aber die Tiden in Fredericia eine ziemlich hohe Amplitude,

<sup>1)</sup> Krümmel, Oz. II. Seite 361.

und da die Tiefe des kleinen Belts trotz seiner Enge stellenweise 80 m beträgt, könnte es deshalb sein, daß eine durch den kleinen Belt kommende Welle sich mit der des großen Belts vereinte und mit dieser zusammen nach Kiel liefe. Es fehlen aber am ganzen kleinen Belt die Beobachtungen und diese Annahme muß infolgedessen dahingestellt bleiben. Für Marienleuchte sind die Kappas alle kleiner als für Kiel, passen zu den für Korsör bekannten Zahlen hingegen, und es wäre somit der Schluß gegeben, daß die Flutwelle bei ihrem Austritt aus dem Belt sich teilt und getrennt nach Kiel resp. Marienleuchte weitergeht. Schwer in das Schema einzuordnen sind die Konstanten von Gjedser. Die Epochen lassen sich nicht in Einklang bringen mit denen der Gezeiten für Warnemünde und Arkona, wohl aber mit denen von Korsör oder Marienleuchte. Demnach würde die Flutwelle nicht erst die Mecklenburger Bucht durchlaufen, ehe sie Gjedser erreicht, sondern aus dem Belt austretend direkt an den dänischen Inseln entlang nach Gjedser kommen. Vergleicht man weiter die Kappazahlen von Gjedser mit denen von Arkona und Swinemünde, so findet man, daß eine Übereinstimmung besteht nur für die Halbtagszeiten. Es liegt die Annahme nahe, daß hier eine Interferenz stattfindet durch Zusammenreffen dreier Wellen, der Sund- und der beiden Zweige der Beltwelle. Zwar beeinflußt diese Interferenz scheinbar nicht das Fortschreiten der Halbtagszeiten, weil in dem Verlauf derselben keine Unregelmäßigkeit zu beobachten ist, sondern führt nur die bei Arkona stattfindende Verspätung der Eintagstiden herbei. Die abermalige Verzögerung derselben Welle mag einstweilen als lokale, durch die Oder verursachte Störung gedeutet werden.

Ist an der Hand des vorliegenden Materials nicht klar ersichtlich, in welcher Weise die Sundwelle auf die Ostseetiden einwirkt, so dürfte als sicher angesehen werden können, daß die Tiden in der südwestlichen Ostsee, bis Arkona etwa, zurückzuführen sind auf die durch den Belt kommende Flutwelle, und daß dieselbe Welle zur Hauptsache auch maßgebend ist für den weiteren Verlauf der Ostseezeiten.

Neben der periodischen Bewegung des Wasserspiegels deuten die Marcogramme weiter hin auf

## II. Unperiodische Schwankungen.

Diese Wellen, die der Flutkurve in Form von Zickzacklinien aufgesetzt sind, werden oft als sekundäre Gezeitenwellen bezeichnet. Sie sind seit der Mitte des 19. Jahrhunderts an fast allen Küsten beobachtet und finden sich in jedem Mareogramm verzeichnet. Die Forschungen haben zu den allgemeinen Ergebnissen geführt, daß sekundäre Wellen besonders ausgeprägt sind in langgestreckten Buchten, während sie an offenen Küsten und flachen Buchten schwach sind. Höhe und Periode der Schwingungen derselben Bucht wechseln häufig, doch immer so, daß mehrere Perioden von bestimmter Dauer wiederkehren, wenn auch diese Dauer meistens um einige Minuten schwankt. Durch Interferenz einer einfallenden mit einer stehenden Welle bilden sich oft solche stehende Schwingungen, die am Ende der Bucht einen Bauch, an der Mündung eine Knotenlinie aufweisen. Die Schwingungsdauer der sekundären

Wellen läßt sich angenähert berechnen nach der Formel  $T = \sqrt{\frac{2L}{g \cdot h}}$ .  $L$  ist hier Länge,  $h$  mittlere Tiefe der Bucht und  $g = 9,81$ . Handelt es sich um stehende Wellen, deren Knotenlinie an der Mündung des Beckens liegt, so kann man deren Periode gleichsetzen derjenigen einer stehenden Schwingung in einem See von doppelter Länge der Bucht, d. h.  $T = \sqrt{\frac{4L}{g \cdot h}}$ . Ist die Mündung der Bucht sehr breit, so muß eine Korrektonsformel benutzt werden:

$$T = \sqrt{\frac{4L}{g \cdot h}} \left[ 1 + \frac{4b}{\pi L} \left( \frac{3}{2} - \gamma - \log \frac{\pi b}{4L} \right) \right], \text{ wo } b \text{ die Breite der Bucht angibt und } \gamma = 0,5772 \text{ ist.}$$

### Häufigkeit und Dauer der stehenden Wellen.

Wie eingangs festgestellt wurde, sind diese unperiodischen Schwankungen immer gruppenweise in den Mareogrammen verzeichnet, und zwar nimmt in jeder Gruppe die Höhe der einzelnen Schwankungen immer zu, um sich allmählich wieder zu verkleinern. Die Zahl der Wellen in den Gruppen schwankt sehr hin und her. Oft gehören drei bis vier Wellen zusammen, während zu Zeiten die Kurve mehrere Tage hintereinander ohne Unterbrechung ein gezacktes Aussehen hat. Die verzeichneten Ausschläge lassen auf das Vorhandensein zweier Schwingungen schließen, von denen die kleinere der größeren meistens aufgesetzt ist, oft aber auch in dieselbe übergeht.

Tabelle V.

Zahl der beobachteten Gruppen	Zahl der Wellen in den einzelnen Gruppen	Gesamtzahl der ausgeprägten Wellen	Dauer der Einzelschwingung in Minuten	Mittlere Höhe cm	Maximale Höhe cm
15	4—12	117	108,6	12	47
16	7—26	236	27,6	4	22

Zur Aufstellung der Tabelle V wurden wiederum die Mareogramme 1908 und 1909 benutzt und zwar wurden nur solche Gruppen beobachtet, in denen eine Schwingung gesondert vorkam; Gruppen nach Art der Fig. 3 wurden nicht berücksichtigt. Um die Schwingungsdauer festzustellen, wurde die Zahl der Schwingungen in den Gruppen gezählt und mit dieser in die Zeit, die für die Gruppen insgesamt abgelesen war, dividiert; die für die Dauer der Einzelschwingung in der Tabelle V angegebenen Minuten sind also Mittelwerte. Demnach würde etwa eine Welle von 108 Min. und eine ebensolche von etwa 27 Min. Dauer vorhanden sein. Die erstere ist am meisten ausgeprägt; ihre mittlere Höhe wurde auf 12 cm geschätzt, während mit 47 cm der maximale Ausschlag verzeichnet war. Die zweite Welle von etwa 27 Min. Dauer könnte man auffassen als eine der Hauptwelle untergeordnete Schwingung von  $\frac{1}{4}$  Dauer der Hauptperiode. Für diese Annahme spricht auch das öfters stattfindende Übergehen der kleinen

Schwingung in die größere. Als Maximum der Höhe wurde für die kleinere Welle 22 cm beobachtet, und als Durchschnittswert derselben können 4 cm angegeben werden.

### Die schwingenden Becken.

In dem zweiten Teil der Oceanographie<sup>1)</sup> deutet Krümmel die größere Welle als herführend von der Schwingung der ganzen Förde bis zu einer Grenzlinie Bülk—Hagener Aue.

Krümmel hat eine Periodendauer von 112 Min. beobachtet und findet nach der einfachen Formel  $T = 4 L : \sqrt{g \cdot h}$  eine solche von etwa 114 Min. Überschlägige Berechnungen haben ergeben, daß eine Eigenschwingung dieses Beckens eine Periode von kleinerer Dauer haben würde und man die Annahme einer stehenden Welle mit der Knotenlinie an der Mündung des Beckens machen muß, um zu einer Erklärung der großen Periode zu kommen.

Nun ist 1908 und 1909 zwar mehrmals eine Welle von 113 Min. Periode vorhanden, es ist aber auch eine solche von 100 Min. registriert, siehe Tabelle VI., während das Mittel aller Beobachtungen hinweist auf eine Periodendauer von etwa 108 Min. Eine für das schwingende Becken angenommene Länge von 16000 m ergibt eine Periode von 105 Min., wenn man die

Figur 6.

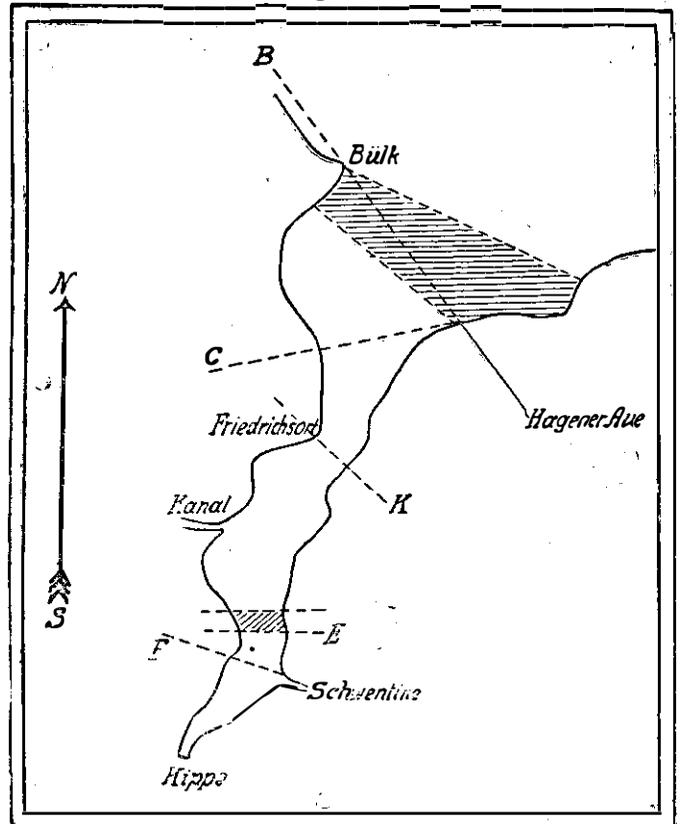


Tabelle VI.

Knotenlinie in Fig. 6 bezeichnet mit	Länge des Beckens L	Breite der Mündung b	Mittlere Tiefe h	Beobachtetes T in Minuten		Berechnetes T in Minuten	
				Extremwerte	Mittl. Werte	ohne Mündungskorrektion	mit Mündungskorrektion
B	16000		10,5	100,6—113,3	108,6	105,10	
C	14000	4150	10,5				110,81
E	4000		10,5	26,1—30,6	27,6	26,27	
F	3400	1100	10,5				27,02

<sup>1)</sup> Krümmel, Oz. II. Seite 176.

einfache Formel benutzt und die Wassertiefe mit 10,5 m bezeichnet. Führt man eine Mündungskorrektur ein, so muß man zurückgreifen auf ein kleineres Becken von  $L = 14000$  m, um auf eine Schwingungsdauer von 110,8 Min. zu kommen; die Knotenlinie ist in Fig. 6 mit C bezeichnet. Als Mündungsbreite ist für dieses Becken gemessen  $b = 1150$ , so daß nach der bei Krümmel angegebenen Tabelle<sup>1)</sup> die Korrektur sich leicht berechnen läßt.

Die kleineren Wellen weisen, wie aus der Tab. VI zu ersehen ist, eine Dauer auf von 26 Min. bis 30 Min. Man könnte ein Schwingen des Beckens von der Kippe bis zum Leuchtturm mit der Grenze bei Linie K. in Fig. 6 vermuten. Es würde aber eine stehende Welle dieses Beckens ( $h = 10,5$  m,  $L = 10000$  m) mit der Knotenlinie bei K. eine Dauer haben von 66 Min., eine Welle, die sich im Mareogramm nicht findet. Die Periode einer Eigenschwingung dieses Beckens von 34 Min. gibt Krümmel als registriert an,<sup>2)</sup> wurde aber 1908 und 1909 nicht verzeichnet. Setzt man  $L = 4000$  m, so erhält man nach der einfachen Formel  $t = 26,27$  Min., einen Wert, der dem Mittelwert von 27,6 sich nähert und hinweist auf die Knotenlinie E in Fig. 6. Die Mündungskorrektur angebracht für  $b = 1100$  m, ergibt für  $L = 3400$  m einen noch besseren Wert für  $t$ , nämlich 27,02 Min. Nun weist die Rechnung beide Male auf zwei Becken hin, wo Länge des Beckens und Periode der Schwingung in demselben Verhältnis 1:4 stehen. Sei jetzt wieder daran erinnert, daß die kleinere Schwingung oft in die größere übergeht, so kann man als erwiesen annehmen, daß die kleinere Schwingung eine Oberschwingung der großen darstellt. Es fragt sich nur, welches Beckenpaar man als das Schwingende annehmen soll. Die Knotenlinien E und B liegen dort, wo sie nach der Gestalt des Beckens wohl liegen könnten, während von dem anderen Paar C und F die Linie C eine ganz unwahrscheinliche Lage hat. Nun hat man mehrfach gefunden, daß die einfache Formel einen besseren Wert liefert als die mit der Mündungskorrektur und für diesen Unterschied eine Erklärung darin gesucht, daß der störende Einfluß einer breiten Mündung durch den Einfluß der unregelmäßigen Gestalt des Beckens ausgeglichen wird. Die Ergebnisse der Rechnung legen dieselbe Annahme für die Verhältnisse in der Kieler Förde nahe, und führen zu dem Schluß, daß die Länge der schwingenden Becken mit etwa 16000 m resp. 4000 m angegeben werden kann. Greift man zurück auf die allgemein gültige Regel, daß die Lage der Knotenlinie schwankt, so müßte man, gemäß den in Tabelle VI angeführten Extremwerten der Periodendauer zwei Gebiete bezeichnen, innerhalb deren die Knotenlinie sich bewegt. Sie seien angegeben durch die in Fig. 6 schraffierten Flächenstücke, d. h. schwingt das große Becken, so wechselt seine Länge zwischen  $L = 15400$  m und  $L = 17200$  m, weil  $t$  von 100 bis 113 Min. variiert. Schwingt hingegen das kleinere Becken, so würde seine Länge entsprechend  $t = 26$  Min. und  $t = 30$  Min. liegen können zwischen 4000 m und 4500 m.

### Ursachen der stehenden Wellen.

In der nächsten, 7. Tabelle, ist der Versuch gemacht worden, das Auftreten der stehenden Schwingungen in Beziehungen zu setzen zum Winde.

<sup>1)</sup> Krümmel, Oz. II. Seite 163.

<sup>2)</sup> Krümmel, Oz. II. Seite 171.

Tabelle VII.

	In Längsrichtung der Bucht wehend		Quer zur Bucht wehend		Summe
	SW—S—SO	NO—N—NW	O	W	
Wellen hervorruhend bzw. vergrößernd	38	16	2	2	58
Wellen schwächend . . .	5	—	17	29	51
Summe . . . . .	43	16	19	31	109

Von den 109 angestellten Beobachtungen ergibt sich die Gliederung derart, daß sie zu dem Schluß führt: ein in der Längsrichtung der Bucht wehender Wind ruft eine stehende Welle hervor, bzw. verstärkt sie, während ein Wind, der die Tendenz hat, sich quer zur Bucht zu stellen, die stehenden Schwingungen dämpft. Freilich ist für das Dämpfen nicht immer allein die Windrichtung, sondern auch die Windstärke maßgebend. So kann es vorkommen, daß derselbe Wind die Wellen verstärkt um sie zu schwächen, wenn er abflaut. Was die verschiedene Höhe der Wellen angeht, so wäre zu sagen, daß im allgemeinen ein heftiger, wenn auch kurzer Wind ebenso wie ein lang anhaltender Wind dieselbe vergrößert.

Wären die Pegelaufzeichnungen jetzt von den beiden Haupt Gesichtspunkten aus analysiert, und somit Veränderungen des Wasserspiegels, wie sie sich in kleineren Zeitabschnitten abspielen, dargetan, so mußte auch eingegangen werden auf Bewegungen, die der Wasserspiegel ausführt in einem größeren Zeitraum, auf

### III. Die Schwankungen des Mittelwassers.

Als von den Gezeiten mit langer Periode die Rede war, wurde die Bezeichnung Mittelwasser zwar schon gebraucht, es soll aber im Gegensatz zu diesen Tagesmitteln in der Folge die Dauer eines Monats der kleinste Zeitraum sein, von dem eine Zahl für den mittleren Wasserstand angegeben wird. Um eine Gesetzmäßigkeit erkennen zu können, erstrecken sich die nachfolgenden Betrachtungen auf einen Zeitraum von 15 Jahren und zwar auf die Mareogramme der Jahre 1895 bis 1909. Die in der Tabelle VIII enthaltenen Zahlen für die mittleren monatlichen Wasserstände sind für die vorliegende Arbeit nicht eigens berechnet, sondern geben Zahlen wieder, wie sie sich in den betreffenden Mareogrammen vorfanden. Das Fehlen zweier Angaben für das Mittelwasser, September 1903 und September 1909, ist darin begründet, daß in diesen Monaten die Lücken der Aufzeichnungen einen ganz beträchtlichen Umfang annehmen und sich über den weitaus größten Teil des monatlichen Mareogramms ausdehnen. Wie weiter aus Tabelle VII entnommen werden kann, sind für je fünf Jahre für die einzelnen Monate Mittel gebildet und diesen dann Zahlenwerte hinzugefügt, wie dieselben sich aus der Gesamtheit der 15 Monatsmittel ergaben. Zur Erlangung dieser Größen wie auch der für die Vierteljahrs- und Jahresmittel verzeichneten Zahlenwerte waren ausschließlich die in der Tabelle enthaltenen Monatsmittel maßgebend. Die aus den Gesamtmonatsmitteln und den Jahresmitteln gefundene

Tabelle VIII.

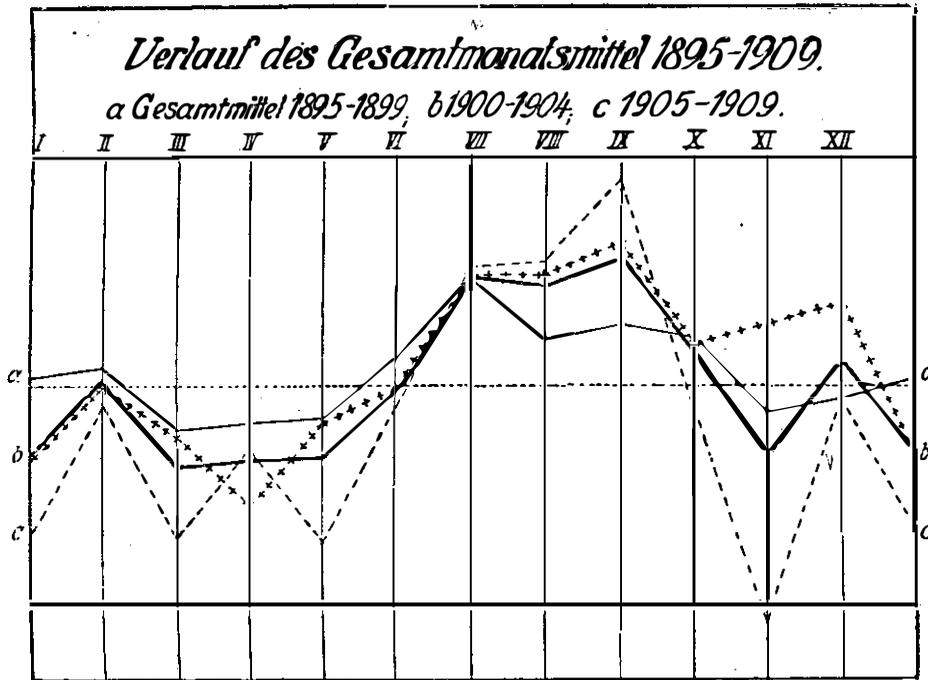
## Monats-, Vierteljahrs- und Jahresmittel 1895—1909.

	I	II	III	Vierteljahrs- mittel	IV	V	VI	Vierteljahrs- mittel	VII	VIII	IX	Vierteljahrs- mittel	X	XI	XII	Vierteljahrs- mittel	Jahresmittel
1895	27,7	8,4	1,3	12,47	5,1	2,7	5,7	4,5	8,2	8,0	19,2	11,8	12,2	13,5	17,4	14,47	10,8
1896	-2,8	13,6	5,2	5,33	2,3	9,1	11,4	7,6	20,4	13,7	8,2	14,1	5,7	7,8	3,2	3,57	8,67
1897	7,2	-2,7	2,6	2,37	12,0	15,3	15,3	14,2	14,7	6,4	4,5	8,05	10,8	-0,8	1,0	3,67	7,52
1898	1,9	22,5	23,6	16,0	12,2	2,7	4,6	6,5	17,8	13,0	17,2	16,0	19,6	0,8	0,5	6,97	11,33
1899	19,7	12,8	7,8	13,43	9,4	11,9	18,9	13,4	12,2	20,0	14,6	15,6	11,9	20,9	25,3	19,37	15,4
Monatsmittel der Jahre 1895—1899	10,54	10,92	8,1		8,2	8,34	11,18		14,66	12,22	12,74		12,04	8,44	9,37		
1900	2,9	7,7	6,9	5,83	-4,8	15,8	7,4	6,13	8,5	16,0	9,0	11,17	11,0	14,5	3,2	9,57	8,17
1901	1,5	5,6	3,4	3,5	0,5	-0,9	8,9	2,83	10,4	10,5	21,9	14,27	7,3	2,5	22,8	10,87	6,29
1902	12,1	15,3	5,1	10,83	4,5	4,8	13,0	7,43	11,8	18,0	18,3	16,03	14,0	17,3	4,6	11,97	10,58
1903	8,4	12,8	17,8	13,0	30,0	14,3	10,8	18,37	20,0	19,2	—	19,6	15,5	19,3	15,7	10,1	16,61
1904	7,2	9,1	6,4	7,57	-8,0	6,9	6,8	1,9	21,8	12,1	16,0	16,63	11,0	10,4	22,4	14,6	10,09
Monatsmittel der Jahre 1900—1904	6,42	10,1	7,92		4,55	8,18	9,38		14,5	15,16	16,3		11,76	12,8	13,74		
1905	11,5	12,0	-1,1	7,45	12,0	7,2	13,0	10,73	21,9	21,3	26,1	23,1	11,9	4,9	19,0	11,93	13,3
1906	7,5	11,8	8,9	9,4	7,9	6,9	15,3	10,03	19,6	20,0	26,8	22,13	7,4	-7,2	19,6	6,6	12,04
1907	1,9	-6,7	9,4	1,53	16,5	7,5	1,0	8,33	16,1	10,0	—	8,7	13,6	-6,3	4,1	3,8	6,46
1908	6,7	12,5	-1,5	5,9	-0,7	1,6	8,0	2,97	7,2	10,2	12,2	9,87	11,6	-7,2	4,9	3,1	5,45
1909	-13,2	15,9	-0,3	0,8	-0,2	-9,0	5,8	1,13	9,5	16,0	12,0	12,5	0,3	12,2	-0,4	4,03	4,05
Monatsmittel der Jahre 1905—1909	2,88	9,1	3,08		7,1	2,84	8,62		14,74	15,5	19,275		8,96	-0,72	9,44		
Gesamtmonats- mittel	6,88	10,04	6,36		6,58	6,45	9,72		14,646	14,293	15,85		10,92	6,84	10,9		9,85

Zahl 9,85 gibt das Gesamtmittel für die Wasserstände des beobachteten fünfzehnjährigen Zeitraums an. In den diesem Abschnitt beigegebenen Tafeln und Figuren ist dieses Gesamtmittel dargestellt durch die punktierte Abszissenlinie, während die schwarz ausgezogene Abszisse die Nulllinie wiedergibt, die dem schon erwähnten, als Kieler Null bezeichneten Werte entspricht.

In die Fig. 10 sind nun zunächst die Werte für die Monatsmittel fortlaufend eingetragen und zwar in  $\frac{1}{10}$  der wirklichen Höhe. Aus dem zickzackmäßigen Aussehen der Kurve läßt sich eine bestimmte Gesetzmäßigkeit schwer erkennen. Ebenso verschafft die eingetragene Kurve der Vierteljahrsmittel wenig Übersicht. Dagegen gibt Fig. 6 deutlich wieder, in welcher Weise die Monatsmittel während eines Jahres verlaufen.

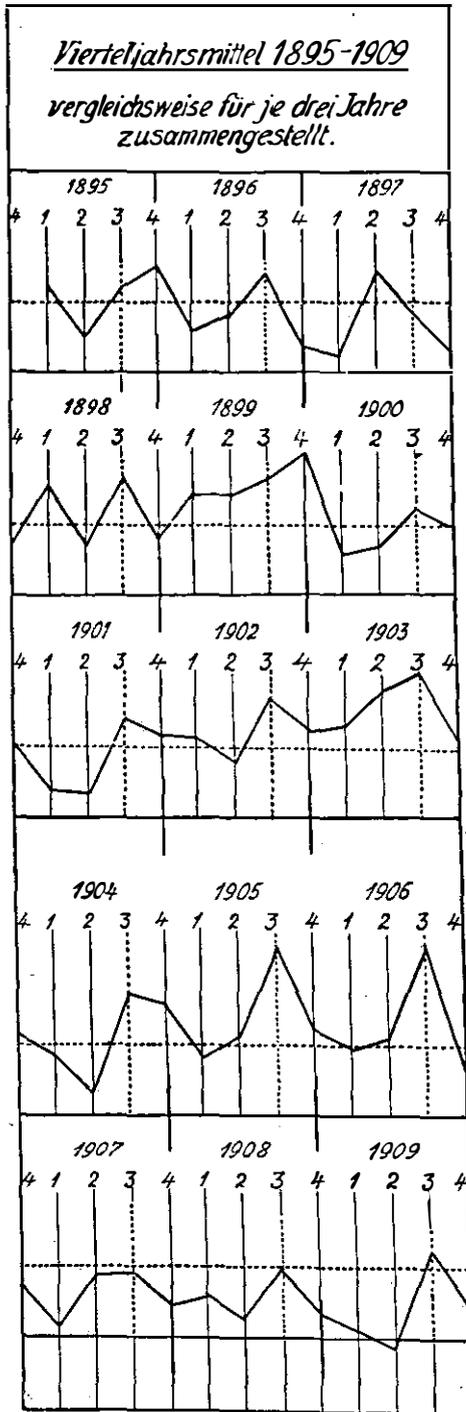
Figur 7.



Die Kurven a, b und c stellen den Verlauf der Monatsmittel der fünfjährigen Abschnitte, die stark ausgezogene Kurve den der Gesamtmittel dar, und zwar verhält sich die Abszisse der eingezeichneten Werte zur tatsächlichen Höhe wie 3:10. Die vier Kurven weisen freilich für die verschiedenen Monate nicht immer dieselbe Tendenz auf, etwa ein Fallen oder Steigen; es geben aber im allgemeinen a, b und c den Verlauf der vierten Kurve wieder, wie er sich dadurch kennzeichnet, daß die Maximalwerte sich in zwei Gruppen ordnen lassen. Die eine dieser Gruppen umfaßt die Wasserstände in den Monaten Juli, August und September. Die zweite fällt hingegen nicht, wie zu erwarten wäre, in die entsprechende Zeit von Januar bis März, sondern beginnt schon einen Monat früher, nämlich im Dezember und endet im Februar. Beiden Gruppen ist gemeinsam, daß der mittlere Wert kleiner ist, als der vorhergehende bzw. nachfolgende, eine Eigentümlichkeit, die sich bei den Kurven a, b und c wiederholt. Verglichen miteinander erreicht die eine Gruppe der Maxima einen weit höheren Wert als die andere, so-

daß aus dem Verlauf der Monatsmittel zu schließen ist, daß der jährliche Gang des Wasserstandes im meteorologischen Sommer, im Juli, August und September, sein Maximum erreicht.

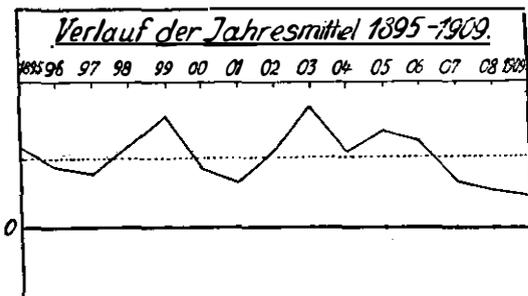
Figur 8.



Ein Blick auf die graphische Darstellung, die Westphal in seiner Arbeit über das Mittelwasser der Ostsee bei Wismar, Travemünde usw.<sup>1)</sup> von dem Verlauf der Monatsmittel gibt, lehrt, daß hier dieselbe Tatsache vorliegt, zwei Gruppen von Maximalwerten, von denen die für den Juli, August und September sich ergebende Gruppe die weitest aus größte ist. Die Zusammenstellung der Vierteljahrsmittel in Fig. 10 zu einer Kurve, Ordinate 1:10, veranschaulicht dieselbe Tatsache.

Zur größeren Übersicht hingegen gelangt man durch Untereinandersetzen kleinerer Abschnitte der Vierteljahrskurve, wie es in Fig. 8, Ordinate 1:10, geschehen ist. Durch die am Schlusse des dritten Quartals hier punktierte Ordinate erkennt man, daß nur dreimal das jährliche Maximum von dieser Regel abweicht, nämlich einmal früher, zweimal hingegen später fällt.

Figur 9.



In Fig. 9 sei der Verlauf der Jahresmittel graphisch dargestellt (Ordinate 1:10), doch ist der gewählte Zeitabschnitt von 15 Jahren zu klein, als daß sich an diese Darstellung eine allgemeine Betrachtung knüpfen und auf eine Gesetzmäßigkeit schließen ließe.

Die letzte Tabelle; Nr. IX, soll zeigen, wie oft und unter welchen Winden eine anormale Höhe des Wasserspiegels eingetreten ist.

<sup>1)</sup> Westphal, Das Mittelwasser der Ostsee  
Preuß. Geod. Instituts Nr. 2.

bei Wismar, Travemünde usw. 1900. Veröffentl. d. Kgl.

Tabelle IX.

Anzahl der Hochwasser in den Jahren 1895 bis 1909.

Höhe des Wassers		In die Bucht wehender Wind		Aus der Bucht wehender Wind W
1—1½ m	1½—2 m	NW—N	NO—O	
44	4	21 1	22 3	1

Im ganzen ist im Laufe der 15 Jahre der Wasserstand 48 mal über 1 m Höhe über Null hinausgegangen, davon waren vier Hochwasser höher als 1½ m. Außerdem wurde einmal die Grenze von 2 m überschritten. Bei dieser Sturmflut des 31. Dezembers 1904 ist die Kurve nicht dauernd registriert und deshalb der Wert in Tabelle IX fortgelassen. Verursacht wird das übermäßige Steigen des Wassers wohl ausschließlich durch die in die Bucht wehenden Winde, die aus Nordwest bis Nord, Nordost bis Ost kommen. Ist in der Tabelle trotzdem einmal Westwind verzeichnet, so mag man eine Erklärung darin suchen, daß bei starkem Westwinde die Wassermassen fortgetrieben wurden und dann zurückfluteten, obgleich der Wind aus derselben Richtung wehte, seine Stärke aber erheblich nachließ.

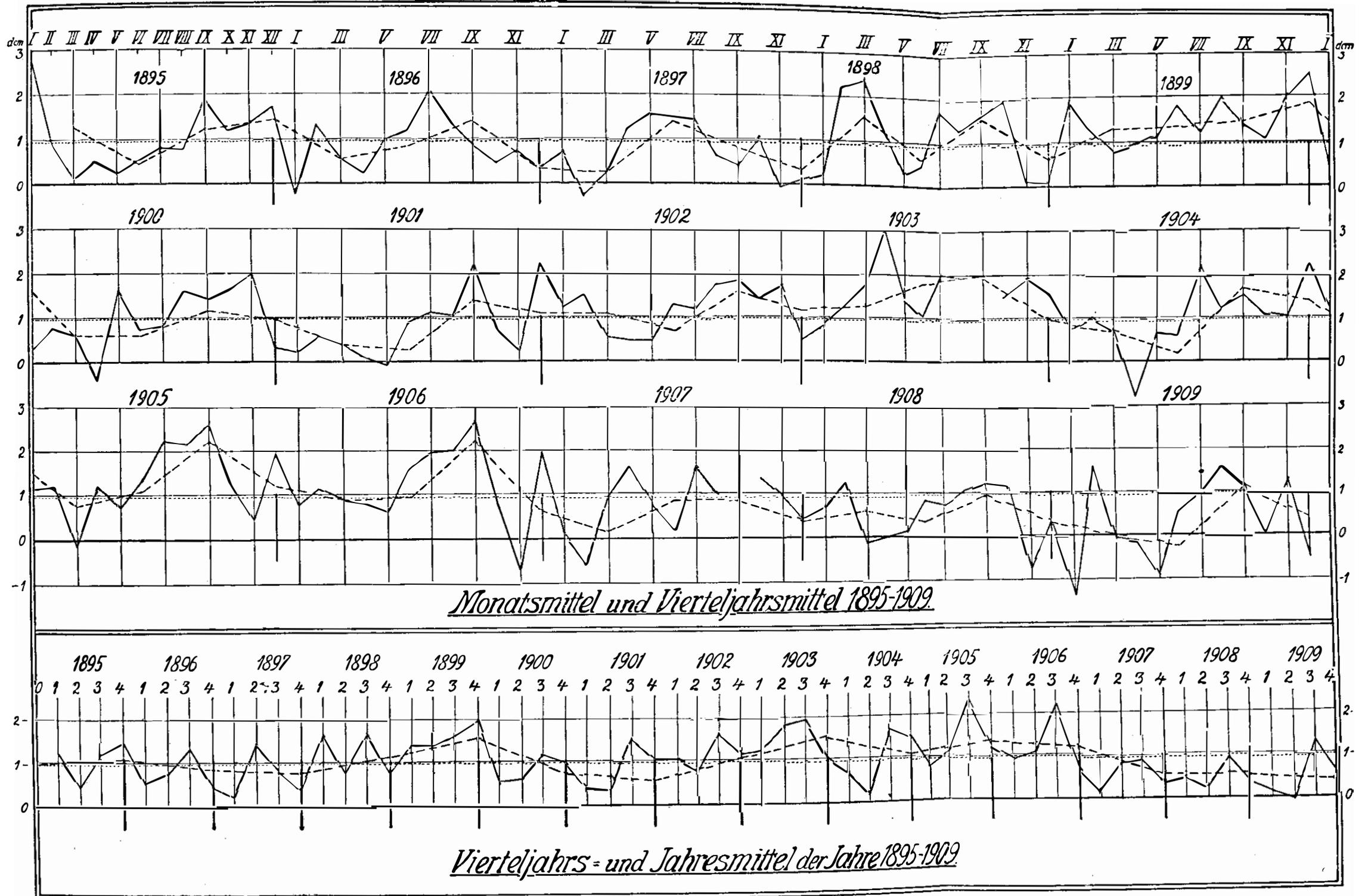
Rückblickend auf die angestellten Erörterungen wäre, diese zusammenfassend, etwa zu sagen:

1. Wie in der gesamten Ostsee, so sind auch in Kiel die Gezeiten nicht stark ausgeprägt.
2. Die harmonischen Konstanten der Partialtiden lassen sich aber trotzdem berechnen und charakterisieren den herrschenden Gezeitentypus als stark gemischt. Die mittlere Hubhöhe kann mit 70 bis 80 mm angegeben werden.
3. Aus dem Vergleich der harmonischen Konstanten einzelner Ostseecorte darf man schließen:
  - a) Die Flutwelle verläuft in der Ostsee von Westen nach Osten und zwar sind mehrere Amphidromien vorhanden.
  - b) Es findet wahrscheinlich bei Rügen eine Interferenz der Sund- und der Beltwelle statt, doch wird trotzdem die Beltwelle in der Hauptsache maßgebend sein für den weiteren Verlauf der Ostseezeiten.
4. Im Kieler Hafen sind stehende Wellen vorhanden, von denen zwei besonders ausgeprägt sind. Man kann
  - a) sie ansprechen als Schwingungen der ganzen Förde und ihres oberen Endes. Sie werden
  - b) hervorgerufen durch Winde, die in der Längsrichtung der Bucht wehen. West- oder Ostwinde haben das Bestreben, diese stehenden Wellen abzuschwächen.
5. Die Bewegung des mittleren Wasserstandes weist eine Periode auf, die jährlich zwei Maximalwerte erreicht, und zwar ist von diesen beiden der eine erheblich größer als der andere.

## Literatur.

- Börger, Die harmonische Analyse der Gezeitenbeobachtungen. Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie. 1881.
- , Eine neue Methode, die harmonischen Konstanten der Gezeiten zu finden. Annalen d. Hydr. usw. 1894.
- Darwin, Ebbe und Flut.
- Endrös, Seeschwankungen, beobachtet am Chiemsee.
- , Vergleichende Zusammenstellung der Hauptseichesperioden der bis jetzt untersuchten Seen mit Anwendung auf verwandte Probleme. Petermanns Mitteilungen. 1908.
- Defant, Über die Periodendauer der Eigenschwingungen des Adriatischen Meeres. Annalen der Hydr. 1911.
- Harris, Manual of Tides.  
Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo, Japan. XXIV. 1908.
- Königlich Geodätisches Institut, Jahresbericht Nr. 40 und 45.
- Krümmel, Ozeanographie I und II (2. Aufl.).
- , Der Ozean.
- Wagner, Lehrbuch der Geographie.
- Wegemann, Beiträge zu den Gezeiten des Mittelländischen Meeres. Annalen der Hydr. 1907.
- , Über sekundäre Gezeitenwellen. Annalen der Hydr. 1908.
- , Eine einfache Methode der Gezeitenberechnung mittels der harmonischen Konstanten für den praktischen Gebrauch. Annalen der Hydr. 1907.
- , Moderne Methoden der Gezeitenforschung. Geographische Zeitschrift. 1908.
- , Die Sturmfluten der westlichen Ostsee. Heimat. 1911.
- Westphal, Das Mittelwasser der Ostsee bei Travemünde usw. Veröffentlichungen des Kgl. Geodätischen Instituts Nr. 2.
- Witting, Der Bottnische Meerbusen in den Jahren 1904 und 1905. Finländisch-hydrographisch-biologische Untersuchungen Nr. 2.
- , Tidvattnen i Österjön och Finska Viken. Helsingfors 1911.
-

Figur 10.



# Lebenslauf.

---

Am 28. September 1888 wurde ich, Karl Thomas Friedrich Meier, lutherischer Konfession, preußischer Staatsangehörigkeit, in Flensburg als Sohn des Werkmeisters Moritz Meier und seiner Ehefrau Christine geb. Hansen geboren. Ich besuchte die Oberrealschule meiner Vaterstadt und ließ mich nach dem an derselben Schule Michaelis 1907 abgelegten Abiturientenexamen in Berlin, Leipzig und Kiel immatrikulieren, um dort Mathematik, Physik und Geographie, anfangs auch Französisch, zu studieren. Vom 1. Oktober 1911 ab war ich drei Semester lang als Assistent am Geographischen Institut der Universität Kiel tätig.

Ich besuchte die Vorlesungen und Übungen der folgenden Herren Professoren und Dozenten:

in Berlin (W. S. 1907/08): Börnstein, Haguenin, Knoblauch, Lasson, Erich Schmidt, H. A. Schwarz, Slaby, Wölfflin;

in Leipzig (S. S. 1908 bis S. S. 1909): Barth, Cohen, Des Condres, Hausdorff, Hölder, Liebmann, Merker, Neumann, Rohn, Schreiber, Studniczka, Volkelt, Weigand, Wiener, Wundt;

in Kiel (ab W. S. 1909/10): Baumgarten, Dehn, Deussen, Dieterici, Heffter, Johnsen, Kaufmann, Krümmel, Körting, Landsberg, Martius, Pochhammer, Sauer, Schultze-Jena, Graf Vitzthum, Weber, Wegemann, Wüst, Zahn.

Allen meinen Lehrern fühle ich mich zu großem Danke verpflichtet; besonders Herrn Professor Dr. Leonhardt Schultze-Jena und Herrn Privatdozenten Dr. Georg Wegemann, welch' letzterer mich zur vorliegenden Arbeit anregte und bei Ausführung derselben mir stets in der liebenswürdigsten Weise seinen Rat zu teil werden ließ.