

Eigendom van het  
West-Vlaamsch Economisch Studiebureau  
Brugge Reeks / Boek

**SVENSKA  
HYDROGRAFISK-BIOLOGISKA KOMMISSIONENS  
SKRIFTER**

**Ny serie: Hydrografi XII.**



P119

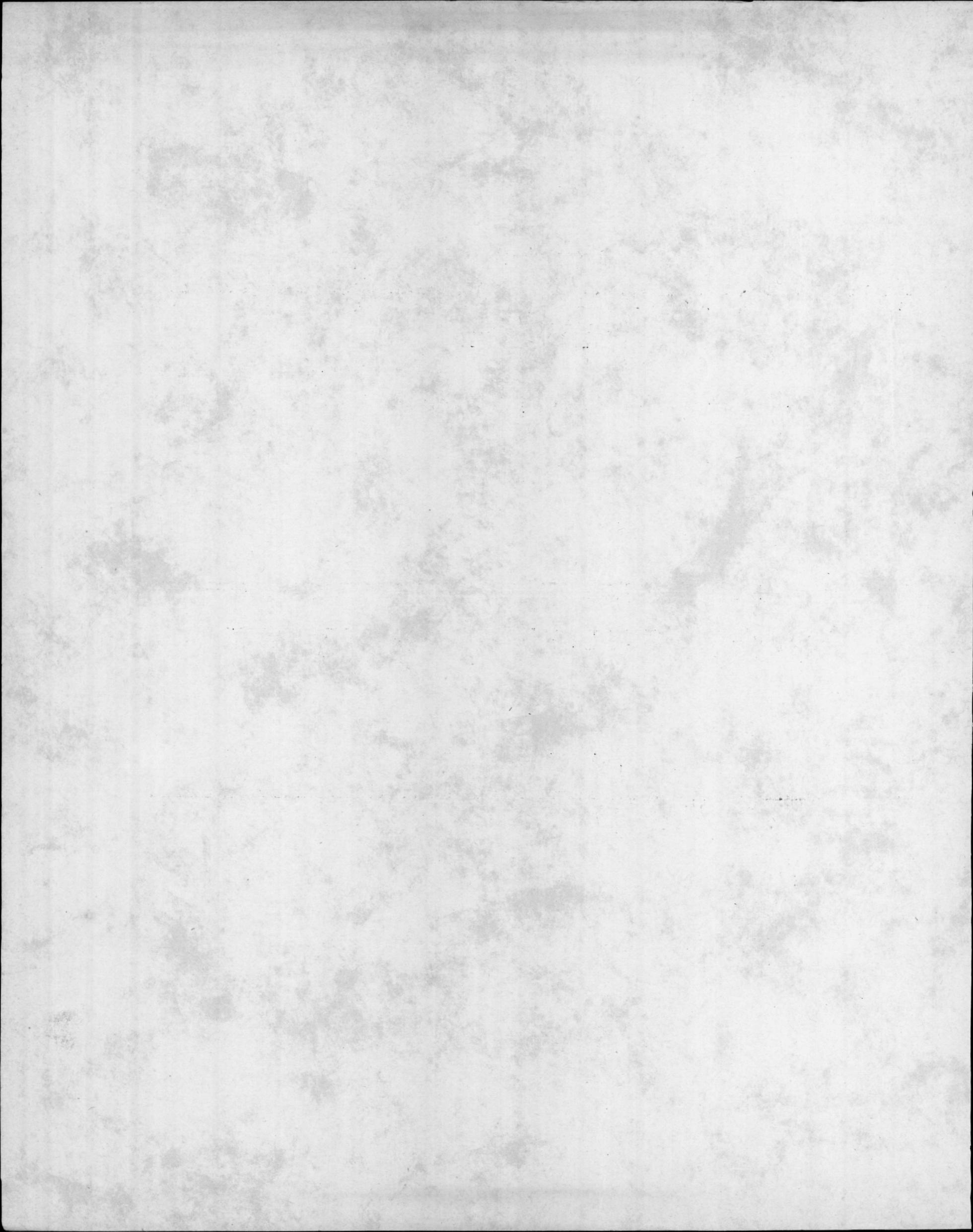
---

**INTERNE WELLEN IM KATTEGATT**

**von**

**BÖRJE KULLENBERG**

---



131489

SVENSKA  
HYDROGRAFISK-BIOLOGISKA KOMMISSIONENS  
SKRIFTER

Ny serie: Hydrografi XII.



---

INTERNE WELLEN IM KATTEGATT

VON

BÖRJE KULLENBERG

---



IE internen Wellen im Kattegatt wurden von OTTO PETTERSSON<sup>1)</sup> im Jahre 1907 bei Messungen an Bord des schwedischen Untersuchungsschiffes »Skagerak» im Grossen Belt entdeckt. Sehr bedeutende Hebungen und Senkungen der Isohalinenflächen wurden beobachtet und, obschon die Beobachtungsfrequenz verhältnismässig gering war, von OTTO PETTERSSON zutreffend als Gezeitenwellen in der Sprungschicht gedeutet. Die Untersuchungen wurden im Jahre 1908 von Ridderstad<sup>2)</sup> wiederholt und die Ergebnisse bestätigt.

Die Schwierigkeiten, das Auftreten von inneren Gezeitenwellen theoretisch zu begründen, rief Bedenken gegen die Deutung der gefundenen Bewegungen als Gezeitenwellen hervor. E. M. WEDDERBURN<sup>3)</sup> machte einen Versuch, die Erscheinung als stehende Wellen im Grossen Belt mit — zufälligerweise — nahezu semidiurnaler Periode zu erklären. Der Gezeitencharakter der Wellen wurde aber bei weiteren Untersuchungen ausser Zweifel gestellt. J. P. JACOBSEN konnte aus Beobachtungen im Langelandsbelt im Jahre 1909 die Hauptkomponenten der halbtägigen Gezeiten bestimmen.<sup>4)</sup> Er konnte auch aus Beobachtungen auf dänischen Leuchtschiffen aus den Jahren 1903—1910 das Auftreten von semidiurnalen Wellen im ganzen Kattegatt nachweisen. Die Niveauveränderungen der Isohalinenflächen mit den gleichzeitig beobachteten Gezeitenströmungen in Verbindung zu bringen, gelang ihm aber nicht und er wurde dadurch zu der Ansicht geführt, dass die internen Wellen als Störungen der Gezeitenwelle durch topographische Unregelmässigkeiten wie Untiefen oder Verengungen des Fahrwassers herbeigeführt werden. Dass Hindernisse irgend einer Art im Wege einer fortschreitenden freien Welle Veranlassung zu internen Wellen geben, wurde schon vorher von ZEILON experimentell nachgewiesen und theoretisch begründet.<sup>5)</sup> Später sind diese Untersuchungen von ZEILON weitergeführt worden und er hat dabei u. a. dargelegt, dass interne Gezeitenwellen auch dann entstehen, wenn ein Gezeitenstrom gegen eine Küstenbank läuft (»Shelf«-Experiment).<sup>6)</sup> Während der Meteor-expedition<sup>6)</sup> wurden im offenen Ozean nicht nur gewaltige, interne Wellen von Gezeitenperiode nachgewiesen, sondern auch interne Wellen von anderen Perioden, deren Ursprung noch nicht klargelegt ist.

<sup>1)</sup> Sv. Hydr.-Biol. Komm. Skrifter III, 1909.

<sup>2)</sup> Ebenda, V, 1912.

<sup>3)</sup> Proc. R. Soc. Edinburgh, Vol. XXIX, 1909.

<sup>4)</sup> Medd. Komm. f. Havundersögelser, Bd. II, Heft 2, Kbhvn 1913; Bidrag til de Danske Farvandes Hydrografi, Diss. Kbhvn 1913.

<sup>5)</sup> On Tidal Boundary Waves, Vet. Akad. Handl., Sthlm 1912; Sv. Hydr.-Biol. Komm. Skrifter V, 1913.

<sup>6)</sup> Medd. Göteborgs Högskolas Ocean. Inst. N:o 8, 1934.

Die internationale ozeanographische Untersuchung im südlichen Kattegatt im August 1931 ging u. a. darauf aus die Bildung interner Wellen zu untersuchen. Das Material ist von A. DEFANT und O. v. SCHUBERT verarbeitet worden.<sup>1)</sup> Die Beobachtungsreihen von Salzgehalt und Temperatur wiesen periodische Schwankungen auf, unter denen hauptsächlich die 12-stündige Gezeitenperiode hervortrat aber auch die 24-stündige Gezeitenperiode bei der analytischen Behandlung nachgewiesen werden konnte. Eine Periode von etwa 14 bis 16 Mondstunden, die andeutungsweise vorkam, wurde nicht näher untersucht. Das auffälligste Analysergebnis der 12-stündigen Periode war eine für Salzgehalt und Temperatur gemeinsame Phasenänderung mit der Tiefe, indem zwischen 15 und 30 m eine allmähliche Verfrühung um 6 Stunden auftrat. Es ergab sich weiter zwischen Salzgehalt und Temperatur eine Phasendifferenz von 6 Stunden. Die Phasen waren aber nicht immer zeitlich konstant, konnten vielmehr sehr grosse und plötzliche Schwankungen aufweisen.

## TECHNISCHES

Um das Studium der internen Wellen zu erleichtern ist bei Bornö Station ein für Beobachtungen auf hoher See bestimmtes Registrierinstrument konstruiert worden, das die Veränderungen der Tiefe einer bestimmten isodenser Fläche in der Sprungschicht aufzeichnet<sup>2)</sup>. Zwar gibt die Registrierung mit solch einem Instrument nicht die gleiche Übersicht über die hydrographischen Verhältnisse wie eine ebenso lange Reihe von vollständigen hydrographischen Lotungen von genügend hoher Frequenz. Aber während genaue Beobachtungen von einem Schiffe bei unruhigem Meer sehr erschwert oder gar unmöglich gemacht werden können und es deshalb schwierig ist ununterbrochene Beobachtungsreihen von grösserer Länge zu erreichen, gibt das Registrierinstrument, unabhängig von den Wetterverhältnissen, Aufzeichnungen von erwünschter Länge. Mittelst mehrerer solcher Instrumente sind mit geringen Kosten gleichzeitige Aufzeichnungen von mehreren Stationen ohne weiteres erhältlich, wogegen es schwierig und sehr kostspielig ist, simultane Beobachtungen von mehreren Untersuchungsschiffen anzutreten.

Das fragliche Instrument, Figur 1, ist von sehr einfacher Konstruktion. Ein eisernes Petroleumfass von etwa 80 em Höhe und 200 Liter Volumen wird mit einem axial durch-

<sup>1)</sup> Veröff. des Inst. f. Meereskunde a. d. Univ. Berlin. Neue Folge. A. 25. 1934.

<sup>2)</sup> Medd. Göteborgs Högskolas Ocean. Inst. N:o 3, 1932.

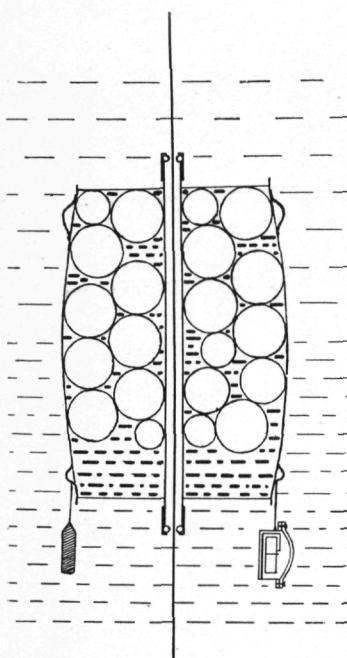


Fig. 1.

gehendem Eisenrohr von 5 cm innerem Durchmesser versehen. An den Enden dieses Rohres werden dicke Glasringe angebracht. Das Fass wird mit dickwandigen Hohlkugeln aus Glas gefüllt, wie sie von Fischern als Flösse benutzt werden. Die Kugeln sind mit Netz überzogen um nicht beim Aneinanderstossen zerschlagen zu werden. Das Fass wird dann zugelötet und mit Wasser gefüllt, das eingesaugt wird, nachdem die Luft ausgepumpt worden ist. Anfangs hat man das Fass mit Petroleum gefüllt, was sich aber wegen der grossen thermischen Ausdehnung dieser Flüssigkeit als ungeeignet erwiesen hat. Ein registrier-

ender Druckmesser wird unten am Fass nebst einem Gegengewicht angehängt, so abgepasst und ausbalanciert dass das ganze System die erwünschte mittlere Dichte erhält. Die Dichte soll mit derjenigen übereinstimmen, welche in der Sprungschicht vorkommt, wo die Densitätszunahme pro Meter am grössten ist. Durch den unten angehängten Druckmesser und dessen Gegengewicht einerseits und die aufwärts strebenden Glaskugeln im Fass andererseits wird die nötige Stabilität gesichert, so dass das Fass im Wasser mit dem axialen Rohr in senkrechter Lage schwimmt.

Die erwünschte Dichte erlangt man auf folgende Weise: Das Fass wird mit seiner normalen Belastung und ein Paar Kilogramm Übergewicht von einem landfesten Punkt aus in möglichst homogenem Wasser hydrostatisch gewogen, so dass, nach Bestimmung der Dichte des Wassers, ein genauer Wert für die mittlere Dichte des Systems ausgerechnet werden kann. Durch Wägungen in mehreren Tiefen kann man feststellen, ob das Fass völlig inkompressibel ist, was nicht der Fall wäre, wenn etwas Luft in demselben zurückgeblieben wäre. Seine Dichte würde dann mit der Tiefe schwanken, was eine Fehlerquelle bedeuten würde.

In seiner Arbeitslage ist das Instrument frei beweglich längs eines Drahtseiles aus Stahl oder Bronze von etwa 4 mm Durchmesser, das durch das axiale Rohr des Fasses gezogen ist. Das Seil wird durch ein Gewicht von etwa 75 kg straff gespannt und ist oben an einer Boje befestigt, die in etwa 5 Meter Tiefe schwimmend mittels zweier Anker verankert ist, wie die Figur 2 zeigt. Das Fass sinkt zu der Sprungschicht hinab und bleibt dort auf dem schwereren Unterwasser schwimmen. Es steigt und sinkt mit der Sprungschicht, und der Druckmesser, der den Druck in Metern Wassersäule angibt, registriert dabei alle seine Bewegungen. Zwar

ist die Einwirkung von Schwankungen des Wasserstandes nicht zu vermeiden, aber bei der Grösse der internen Bewegungen sind jene im allgemeinen zu vernachlässigen. Das zur Führung dienende Seil wird vom Fass nur an den beiden Glasringen berührt, die an den Enden des axialen Rohrs angebracht sind, und die Reibung ist deshalb sehr klein. Sie wird dadurch noch mehr verringert, dass die Boje, an der das Seil befestigt ist, infolge der Oberflächenwellen beständig kleine Bewegungen macht, wodurch das Seil im Rohre des Fasses auf und ab reibt. Die Behauptung dass die Bewegung des Fasses nicht von Reibung gestört wird, stützt sich darauf, dass der Druckmesser stetige Kurven ohne plötzliche Sprünge aufzeichnet. Nur zweimal ist der Gegenteil eingetroffen und zwar bestand dann die Registrierkurve aus abwechselnd horizontalen und vertikalen Geraden. Das Fass ist bei sich erhebender Sprungsicht infolge starker Reibung stehen geblieben und hat erst dann einen Sprung aufwärts gemacht, wenn der immer wachsende Auftrieb gross genug geworden war, um die Reibung zu überwinden. In diesen beiden Fällen aber war einer der Glasringe beim Verankern des Instruments unbemerkt zerschlagen worden.

Die registrierenden Druckmesser sind von der Firma Schäffer und Budenberg, Magdeburg, angefertigt worden. Ihr Volumen beträgt 17 Liter, während ihr Gewicht durch Verwendung einer Aluminiumlegierung auf 23 kg beschränkt ist. Der Durchmesser der Registriertrommel ist 20 cm; bei einer Umdrehung in 7 Tagen entspricht somit eine Stunde beinahe 4 mm. Die Registrierhöhe ist 90 mm und zwei der Instrumente, die im Intervall 0 bis 30 m arbeiten, machen somit einen Ausschlag von 3 mm pro Meter Wassersäule. Die Ausschläge eines dritten Instrumentes, das im Intervall 10 bis 25 m arbeitet, sind doppelt so gross. Die Uhren gehen drei Wochen lang, weshalb die Instrumente ungestört weiterarbeiten, auch wenn die Wetterverhältnisse ihre Aufnahme und erneuerte Verankerung zur rechten Zeit nicht gestatten sollten. Zwar überlagern sich dabei zwei Kurven, die jedoch leicht zu unterscheiden sind. Beim Lesen der Diagramme wird die Tiefe bis auf 0,1 m geschätzt und die Zeit bis auf 0,1 Stunde.

Die Zuverlässigkeit des Instrumentes ist natürlich von

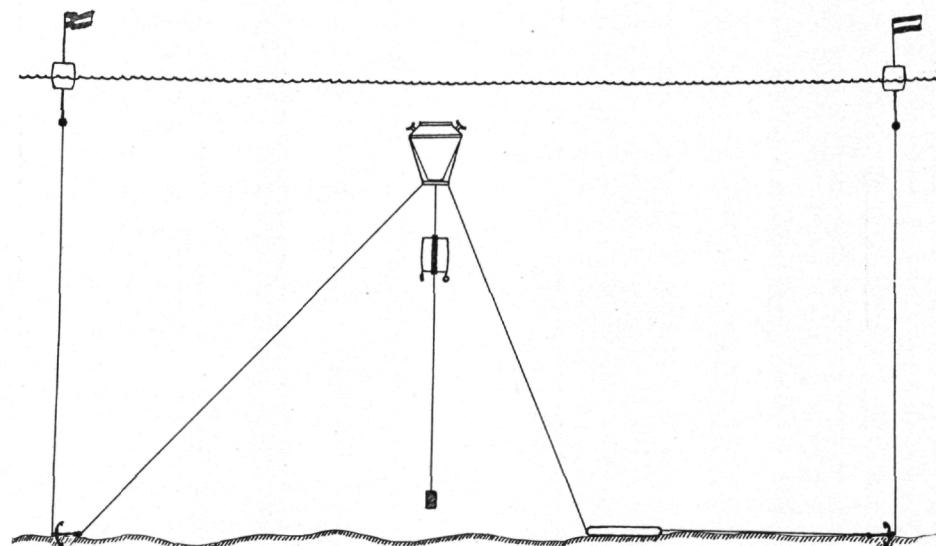


Fig. 2. Verankerung des Schichtgrenz-Pegels.

dem Dichtegradienten in der Wasserschicht abhängig, in der es schwimmt. Das Volumen des ganzen Systems ist etwa 225 Liter. Wenn bei einem Gradienten von 0,001 pro Meter die Sprungschicht sich um 0,1 m erhebt, beträgt somit die Vermehrung des Auftriebes 23 gr. Dass dies ausreicht, um das Fass zu bewegen, ist bei der oben beschriebenen Wägung festgestellt worden; wenn nämlich bei Gleichgewicht noch 20 gr Übergewicht der Waagsehale hinzugefügt wird, macht die Waage sofort einen Ausschlag und das Fass wird ein wenig gehoben. Da in der Sprungschicht im Kattegatt der maximale Dichtegradient nur selten geringer als 0,001 pro m ist — und zwar betrug er während der schwedischen Sommer- und Herbstexpeditionen 1932 im centralen Kattegatt im Höchstfalle 0,010, und mindestens 0,001 und im Mittel etwa 0,002 — wird man wohl damit rechnen können, dass die Aufzeichnungen der Druckmesser die Bewegungen der Sprungschicht bis auf 0,1 m genau wiedergibt.

### Untersuchungen im Sommer und Herbst 1932.

Während Sommer und Herbst 1932 wurden die Instrumente für längere oder kürzere Perioden auf im Ganzen acht verschiedenen Stationen verankert, alle in der Nähe des Fladengrundes. Diese, von I bis VIII nummeriert, sind in der Karte, Figur 4, eingetragen und ihre Positionen sind in nachstehender Zusammenstellung angegeben.

Station	N. Lat.	Ö. Long.
I .....	57° 13',0	11° 56',0
II .....	57° 1',7	12° 3',2
III .....	57° 8',8	11° 49',0
IV .....	57° 7',6	11° 52',0
V .....	57° 4',0	12° 0',3
VI .....	57° 14',0	11° 43',4
VII .....	57° 16',6	11° 40',6
VIII .....	57° 21',0	11° 35',8

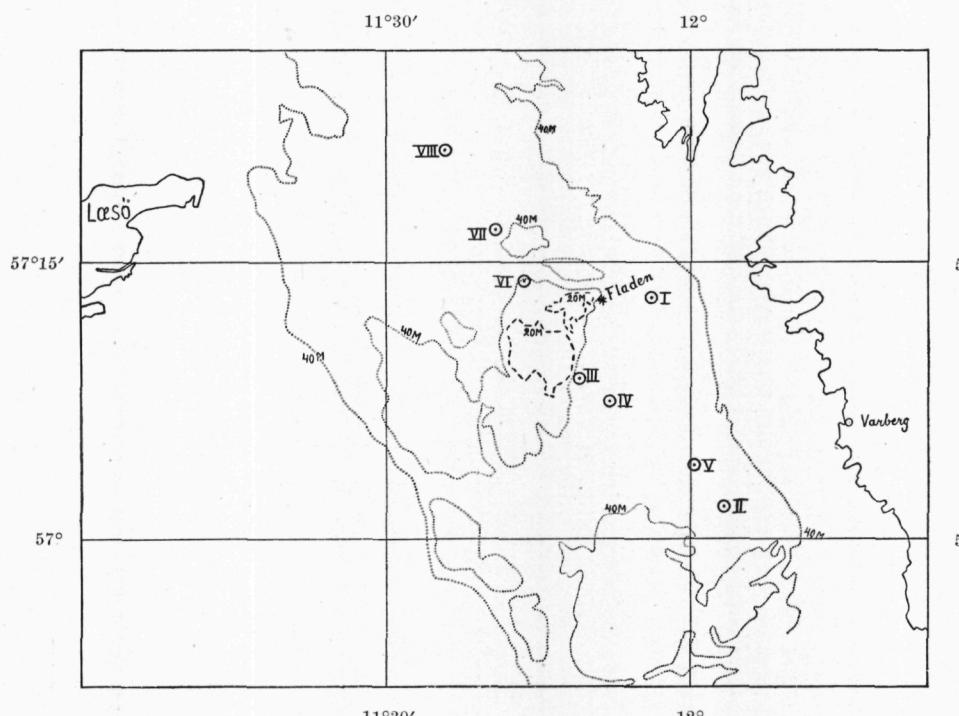


Fig. 3. Kartenskizze des zentralen Kattegatts mit Ankerstationen.

Während der ersten Verankerungsperiode, 20—25 August, lagen zwei Instrumente bei den Stationen I und II, deren gegenseitige Entfernung 24 km ist und die etwa 10 km von der schwedischen Küste entfernt sind. Die Tiefe längs der Geraden I—II schwankt nur wenig und beträgt im Mittel etwa 55 m. Die Instrumente waren dem Schiffsverkehr sehr ausgesetzt und eine der Markierbojen auf Station II wurde auch während der Nacht vom 22. zum 23. August von einem Schiff überrannt, was zur Folge hatte, dass das Instrument von einem Seil bis zur maximalen Tiefe von 30 m hinabgedrückt wurde. Das Diagramm von Station II umfasst wegen dieses Unfalls nur 54 Stunden, während das Instrument bei Station I die ganze Zeit tadellos funktionierte. Beide Registrierkurven sind sehr regelmässig und zeigen halbtägige Wellen, deren Amplituden zwischen 0,5 und 1 m schwanken.

Am 25. August wurden die Instrumente von neuem verankert, dasjenige auf Station I auf unverändertem Ort, währenddem das andere nach Station III verlegt wurde, wo die Tiefe, in nur 1,5 km Abstand von dem nordwestlich davon liegenden 8-Meter Grunde, 40 m beträgt. Am 26. August fuhr das Untersuchungsschiff zur Ostsee ab um andere Untersuchungen auszuführen und bei seiner Rückkehr am 14. September konnte nur das Instrument bei Station III aufgefunden werden. Das Fass muss aber bei obengenanntem Unfall auf Station II undicht geworden sein wodurch etwas Petroleum durch Wasser verdrängt worden war (die Fässer waren zu dieser Zeit noch mit Petroleum gefüllt). Die mittlere Dichte des Schwimmkörpers wurde hierdurch allmählich immer grösser, sodass derselbe nur während der ersten sieben Tage schwimmen konnte, indem er unaufhörlich tiefer sank, bis er schliesslich am unteren Ende des führenden Drahtseiles in 30 m Tiefe aufgehalten wurde. Während der ersten sieben Tage zeichnete der Druckmesser eine Kurve, die Halbtagswellen mit grossen Amplituden, bis zu 3 m, zeigt. Das andere Instrument war von einem Schiff überrannt worden und die Verankerungsanordnungen waren nicht wiederzufinden. Der Schwimmkörper aber mit daran befestigtem Druckmesser wurde 60 km vom Verankerungsort von einem Fischer gefunden. Das Diagramm war tadellos bis zum 4. September und zeigt sehr regelmässige halbtägige Wellen von beträchtlicher Höhe.

Am 1. November wurden drei Instrumente bei den Stationen III, IV und V verankert um zu erforschen, ob die internen Wellen in dieser Gegend, wie es nach ZEILONS Theorie möglich erschien, von dem Fladengrund ausgehen, in welchem Fall eine Bewegungsrichtung etwa entlang der Linie III—IV—V zu erwarten wäre, verbunden mit einer mit wachsender Entfernung vom Grund abnehmenden Amplitude. Die Entfernung zwischen III und IV ist 4 km, diejenige zwischen IV und V ist 10,5 km. Beim

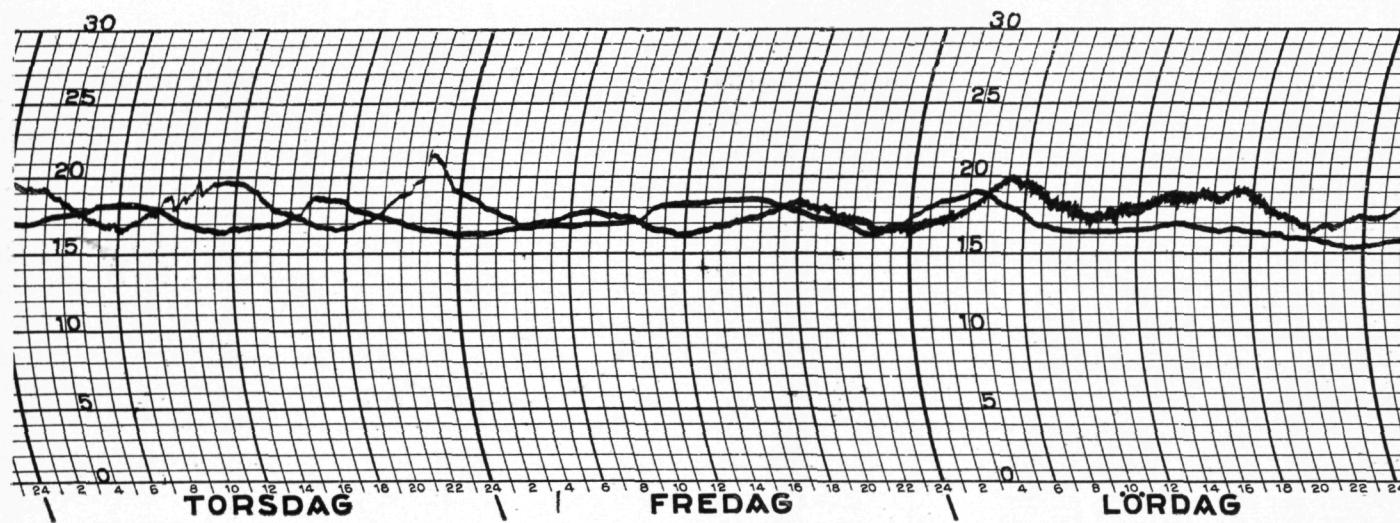


Fig. 4. Abschnitt eines Diagramms, Station VII.

Aufnehmen der Instrumente am 6. November stellte es sich heraus, dass, während diejenige bei den Stationen III und IV verankerten sehr schöne Kurven lieferten, hingegen das bei Station V verankerte ein Diagramm gezeichnet hatte, welches teilweise einen stufenförmigen Verlauf hatte, d. h. aus abwechselnd waagrechten und senkrechten Geraden bestand. Wie schon oben gesagt, wurde dies dadurch verursacht, dass einer der Glasringe, gegen die das führende Seil gleitet, zerschlagen worden war, was allerdings erst dann entdeckt

wurde, als noch eine zweite Registrierung dadurch gestört worden war.

Am 6. November wurden die Instrumente von Neuem verankert, diesmal nördlich von dem Grund bei den Stationen VI, VII und VIII. Diese liegen längs einer Geraden, die von Südost nach Nordwest verläuft, und die Entferungen sind beziehungsweise 5,5 km (VI—VII) und 9 km (VII—VIII). Die Instrumente wurden erst am 21. November aufgenommen, da das Schiff während der Zwischenzeit mit anderen

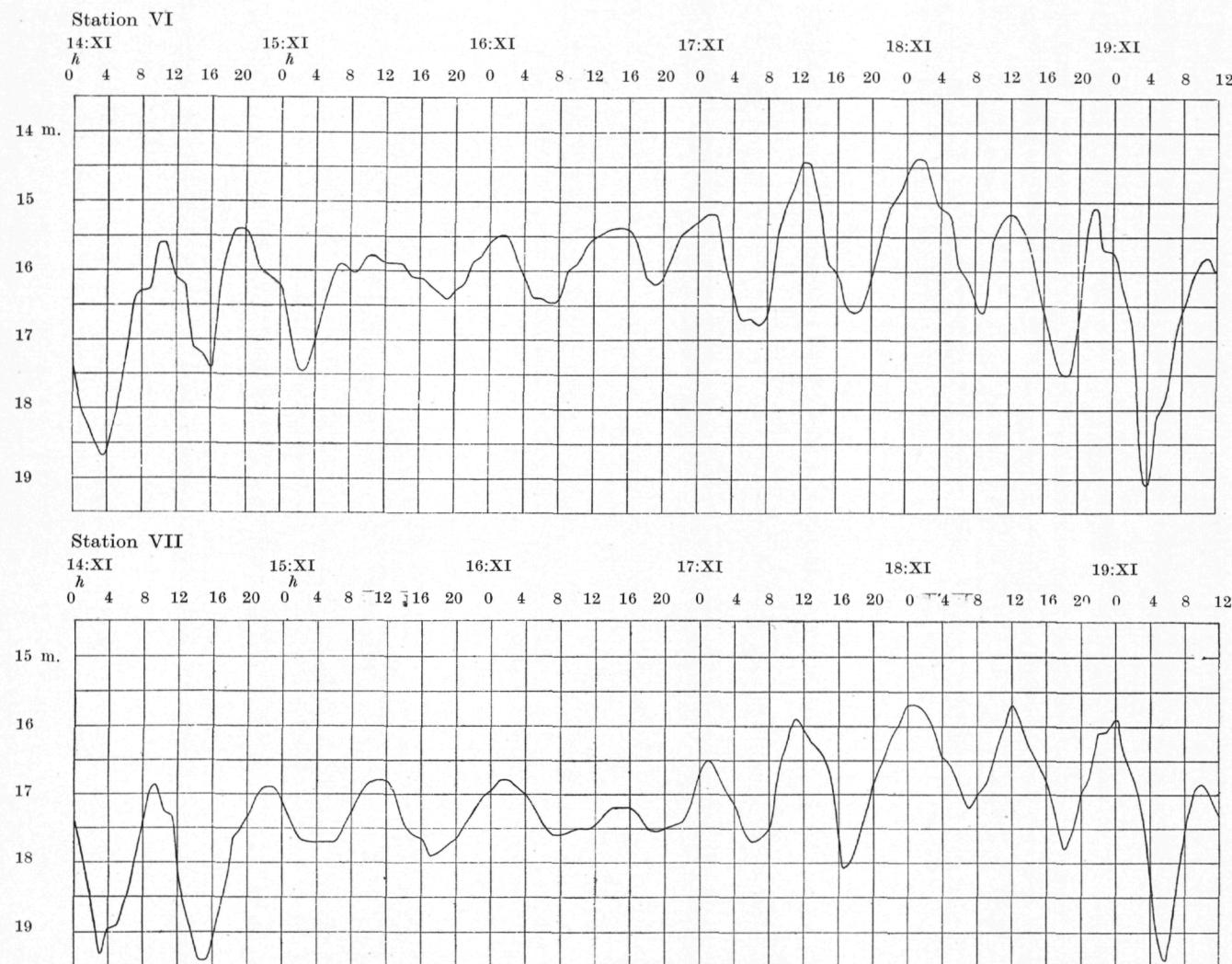


Fig. 5. Abzeichnungen von Diagrammen in vergrössertem Maßstabe.

Untersuchungen beschäftigt war. Das Diagramm von Station VIII war leider völlig unbrauchbar aber die beiden übrigen Instrumente ergaben gute Diagramme, welche beinahe 15 Tage umfassen und somit eine Analyse gestatten, die eine vollständige Trennung der Hauptkomponenten der halbtägigen Gezeiten leistet.

Das Untersuchungsschiff »Skagerak«, das wie schon erwähnt, während der Verankerungsperioden der Instrumente grösstenteils mit anderen Untersuchungen beschäftigt war, konnte nur wenige hydrographische Lotungen und gar keine Strommessungen bei den verankerten Systemen ausführen.

### Analyse

Die Diagramme wurden zuerst in grossem Maßstab abgezeichnet, wobei kleine Zacken ausgeglichen wurden und der Fehlgang der Barograph-Uhren beseitigt wurde. Dann wurden die Tiefen für jede volle Stunde abgelesen; diese sind in Tabellen nach dem Text eingetragen. Vor der Mittelwertbildung für die harmonische Analyse, wurden die unperiodischen Störungen in der Weise eliminiert, dass Mittelwerte der Stundenwerte 1—13, 2—14 usw. gebildet wurden (Bezifferung vom Anfang des Diagramms an). Durch diese Mittelwerte wurde eine ausgeglichene Kurve gezogen, die keine Periodizität zeigte, auch nicht ganztägige Periodizität. Diese Kurve gab somit im grossen und ganzen die unperiodischen Bewegungen der Sprungsicht wieder. Indem endlich die Tiefe der Sprungsicht von dieser Kurve aus als Nullniveau berechnet wurde, erschienen dessen periodischen Bewegungen von nichtperiodischen Störungen in der Hauptsache befreit.

Aus den Registrierungen kann zunächst geschlossen werden, dass die inneren Bewegungen in den Umgebungen von der Fladenbank von halbtägigen Wellen beherrscht werden, deren Gezeitencharakter keinem Zweifel unterliegen kann. Die Wellenamplituden wechseln — nicht selten sehr unregelmässig — zwischen etwa 0,5 m und 3 m, und meistens scheinen sie nahe am Grund grösser zu sein als in einiger Entfernung von demselben. Andeutungen von sehr schnellen Oszillationen mit Perioden von einer Stunde und weniger sind vorhanden, und zwar besonders an Orten nahe der Untiefe. Während den Tagen mit hohem Seegang sind die Diagramme sehr zackig, was wahrscheinlich nicht ganz auf Unruhe in der Sprungsicht zurückgeführt werden kann, sondern teilweise von den heftigen Bewegungen der Tragboje verursacht sein mag. Die nichtperiodischen Bewegungen der Sprungsicht sind nicht sehr gross. Nachdem die internen Gezeiten durch fortschreitende Mittelwertbildung über eine Mondperiode entfernt worden sind, ist der grösste Niveauunterschied, die während eines Monats auftritt, nur 7,5 m. Die nichtperiodischen und die periodischen Bewegungen sind somit von derselben Grössenordnung.

### Untersuchungen im August—September 1932.

Von den Stationen I, II und III liegen Registrierungen vor, die sich über die folgenden Zeiträumen erstrecken.

- Station I. 20. August 15<sup>h</sup> bis 4. September 7<sup>h</sup>.
- » II. 20. August 18<sup>h</sup> bis 22. August 24<sup>h</sup>.
- » III. 27. August 1<sup>h</sup> bis 31. August 15<sup>h</sup>.

Vom 20. VIII bis 1. IX herrschte vorwiegend schwacher bis mässiger Wind von wechselnder Richtung, dessen Stärke nur zweimal 4 Beaufort überstieg. Während der Nacht vom 22. auf den 23. VIII wehte ein nordöstlicher Wind von der Stärke 5 und während dem Vormittag am 28. VIII wehte ein nordwestlicher Wind von der Stärke 5. Vom 2. bis am 4. IX wehte ein kräftiger, westlicher Wind, dessen Stärke zwischen 4 und 7 Beaufort wechselte. Dieser Wind bewirkte hohen Seegang und starke Unruhe in der Sprungsicht.

Die Registrierungen auf Station I umfassen beinahe 15 Tage, d. h. eine ganze Schwebungsperiode der halbtägigen Hauptkomponenten, die somit vollständig voneinander getrennt werden können. Es wurden zu diesem Zwecke Mittelwerte von 28 Mondperioden und 29 Sonnenperioden berechnet, welche dann harmonisiert wurden. Diese Mittelwerte sind, in cm angegeben, in der Tabelle 1 für jede Mond- bzw. Sonnenstunde nach Greenwich-zeit eingetragen, wobei ein Minuszeichen besagt, dass die isopyknische Fläche sich über ihrem mittlerem Niveau befindet.

Tabelle 1.

Stunde	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$M_2$ .....	-38	-4	35	56	75	66	30	-7	-45	-54	-60	-52
$S_2$ .....	49	62	55	33	8	-24	-48	-60	-53	-33	-1	20

Die harmonische Analyse ergibt:

$$M_2 = 69 \cdot \cos \left( \frac{t}{12,42} 360^\circ - 149^\circ \right);$$

$$M_4 = 7 \cdot \cos \left( \frac{t}{6,21} 360^\circ - 316^\circ \right)$$

$$S_2 = 59 \cdot \cos \left( \frac{t}{12} 360^\circ - 65^\circ \right).$$

Eintägige interne Gezeiten lassen sich überhaupt nicht nachweisen; die halbtägigen Gezeiten sind dagegen sehr bedeutend, siehe Fig. 6, und auch die vierteltägige Mondtide,  $M_4$ , scheint vorhanden zu sein.

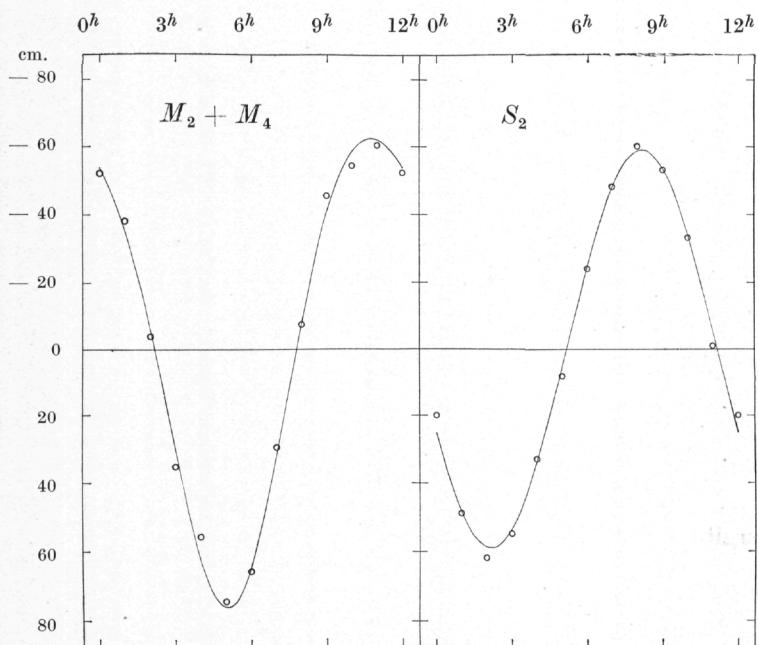


Fig. 6. Station I. Halbtägige interne Gezeiten.

*Ermittlung der Bewegungsrichtung der Wellen.* Ein Vergleich zwischen der Registrierung auf der Station I einerseits und den Registrierungen auf den Stationen II und III anderseits erlaubt eine, wenn auch nur grobe, Schätzung der Bewegungsrichtung der internen Wellen. Zwar sind diese letztgenannten Registrierungen sehr kurz, indem sie nur 4 bzw. 9 Mondperioden umfassen, und sie erlauben somit keine Trennung der halbtägigen Hauptkomponenten. Es wurden daher teils die Mittel dieser 4 bzw. 9 Mondperioden von den Registrierungen auf den Stationen II bzw. III und teils die Mittel derselben Mondperioden von den Registrierungen auf der Station I berechnet und harmonisiert, wodurch einigermassen vergleichbare Phasenwerte erhalten wurden. Die berechneten Amplituden und Phasen sind in der Tabelle 2 eingetragen.

Tabelle 2.

Zeitintervall	Nullpunkt der Zeit	Station	Amplitude cm	Phase
20. VIII 23 <sup>h</sup> — 22. VIII 24 <sup>h</sup>	20. VIII 12 <sup>h</sup>	I	47	261°
		II	50	313°
27. VIII 1 <sup>h</sup> — 31. VIII 15 <sup>h</sup>	27. VIII 0 <sup>h</sup>	I	133	68°
		III	161	164°

Die Positionen der Stationen II und III in Verhältnis zu der Station I waren:

Station II: 24 km S 20° O von Station I

Station III: 11 km S 40° W » » »

Die Wellen treten früher bei I als bei II und III auf und die Phasendifferenzen sind 52° bzw. 96°, was in Zeit 1,8 bzw. 3,3 Stunden entspricht. Als Bewegungsrichtung der Wellen ergibt sich die gegen Westen gerichtete Normale zur Linie, welche die Station II mit einem Punkte zwischen I und III verbindet, in dem die Phasendifferenz gegen I gleich 52° ist. Diese Normale läuft nach S 56° W. Die Internen Gezeitenwellen in diesem Gebiet scheinen somit von der schwedischen Küste auszugehen. Die Geschwindigkeit der Wellen ergibt sich als

$$v = \frac{11000 \cdot \cos 16^\circ}{3,3 \cdot 3600} = 0,89 \text{ m/sec.}$$

Anderseits berechnet sich die Geschwindigkeit nach der Gleichung

$$v = \sqrt{g \frac{\delta_2 - \delta_1}{\delta_2} \frac{1}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}}}$$

wo:  $d_1, d_2$  = Dicke der Ober- bzw. Unterschicht  
 $\delta_1, \delta_2$  = Dichte der Ober- bzw. Unterschicht.

Die Tiefe zwischen den Stationen I und III ist rund 50 m. Aus den hydrographischen Lotungen von der »Skagerak» ergibt sich (siehe Figur 7):

$$d_1 = 12 \text{ m}, d_2 = 38 \text{ m}, \delta_1 = 1,015, \delta_2 = 1,025,$$

woraus:  $v = 0,93 \text{ m/sec}$

in guter Übereinstimmung mit dem oben gefundenen Wert.

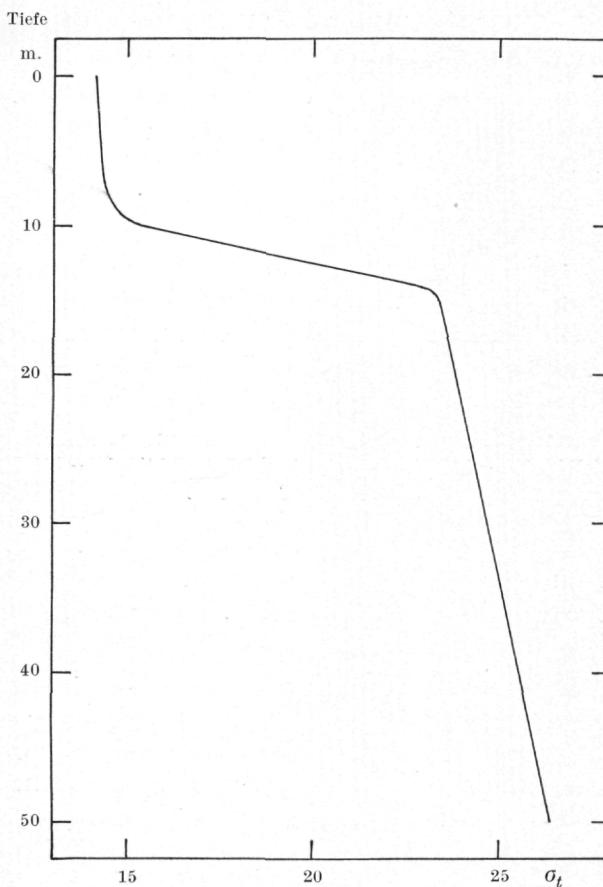


Fig. 7. Densitätsverteilung im Gebiet zwischen den Stationen I und III Ende August.

### Untersuchungen südlich vom Fladengrund im November 1932

Vom 1. bis am 6. November herrschte schwacher bis mässiger Wind von vorwiegend südwestlicher Richtung, dessen Stärke 4 Beaufort nicht überstieg.

Von den Stationen III, IV und V liegen gleichzeitige Registrierungen vor, welche die Zeit vom 1. November 12 Uhr bis zum 6. November 12 Uhr umfassen. Unter diesen sind die Registrierungen der Stationen III und IV sehr schön und regelmässig, während diejenigen von Station V etwas mangelhaft sind, wie schon oben gesagt wurde. Von den beiden erstgenannten Registrierungen wurde das Mittel von 9 Mondperioden gebildet. Von der dritten konnten aber nur 7 Mondperioden, vom 1. November 22 Uhr bis 5. November 11 Uhr, benutzt werden, weshalb wegen der Vergleichbarkeit mit den beiden anderen auch für diese das Mittel derselben 7 Perioden gebildet wurde. Die Zeit ist vom 1. November 0<sup>h</sup> an gerechnet. Die berechneten Amplituden und Phasen sind in der Tabelle 3 eingetragen.

Tabelle 3.

Zeitintervall	Station	Amplitude cm	Phase
1 XI 13 <sup>h</sup> — 6 XI 4 <sup>h</sup>	III	104	238°
	IV	91	238°
1 XI 22 <sup>h</sup> — 5 XI 11 <sup>h</sup>	III	138	248°
	IV	105	253°
	V	49	246°

Die Phasenunterschiede sind sehr klein und die Wellen treffen somit anscheinend gleichzeitig bei den drei Stationen ein. Dies deutet an, dass die Wellen sich im rechten Winkel zur Geraden III—IV—V bewegen, also etwa in der Richtung S  $40^\circ$  W. Die umgekehrte Richtung, N  $40^\circ$  O, scheidet mit Rücksicht auf die oben gefundene Bewegungsrichtung, S  $55^\circ$  W, aus.

Die Amplituden nehmen mit wachsender Entfernung vom Grund ab; besonders auffällig ist dies bei der viertägigen Mondtide mit den Amplituden 38 und 1 cm für bzw III und IV.

### Untersuchungen nördlich vom Fladengrund im November 1932.

Vom 6. bis am 17. XI herrschte schwacher Wind ausser am 9. XI mittags, da während einigen Stunden ein südöstlicher Wind von der Stärke 5 wehte, und am 11. XI nachmittags, da gleichfalls ein südöstlicher Wind von der Stärke 5 wehte. Am 18. XI wehte ein südöstlicher Wind, der von 4 Beaufort am Morgen bis 5 Beaufort am Abend wuchs, um am 19. XI am Morgen die Stärke 6 zu erreichen und dann im Laufe des Vormittags bis unter 4 Beaufort abzunehmen. Am 20. und 21. XI herrschte Windstille.

Von den Stationen VI und VII, nördlich vom Fladengrund, liegen zwei 15 Tage umfassende Registrierungen vor. Es wurde mit diesen genau so verfahren wie oben mit der Registrierung von Station I, indem erst die nichtperiodischen Bewegungen der Sprungschicht eliminiert wurden. Sodann wurden die Mittel von 28 Mondperioden bzw. 29 Sonnenperioden (nach Greenwich-zeit) gebildet und danach harmonisiert.

Die berechneten Amplituden und Phasen sind in der Tabelle 4 eingetragen.

Tabelle 4.

	Station VI		Station VII	
	Amplitude cm	Phase	Amplitude cm	Phase
$M_2$ .....	66	$68^\circ$	58	$67^\circ$
$M_4$ .....	10	$315^\circ$	6	$356^\circ$
$S_2$ .....	32	$79^\circ$	23	$45^\circ$
$S_4$ .....	7	$104^\circ$	—	—

Die mittleren Zahlen und die berechneten Cosinuskurven sind in der Figur 8 graphisch dargestellt.

Eintägige interne Gezeiten waren auch in diesem Falle nicht nachweisbar. Die viertägigen Tiden  $M_4$  und  $S_4$  lassen sich nur auf den Station VI mit einiger Sicherheit nachweisen.

Die Phasenunterschiede der halbtägigen Mondtide einerseits und der Sonnentide anderseits stimmen nicht sehr gut überein. Sie sind aber beide klein, derjenige der Mondtide sogar fast null. In Zeit umgerechnet entsprechen sie 2 bzw. 38 Minuten. Auf den ersterwähnten, der Mondtide entsprechenden Wert, ist bei den entsprechenden grösseren Amplituden das grösste Gewicht zu legen. Die Wellen treffen somit einigermassen gleichzeitig in den beiden Stationen ein. Die Verbindungsline VI—VII läuft nach N  $30^\circ$  W, die

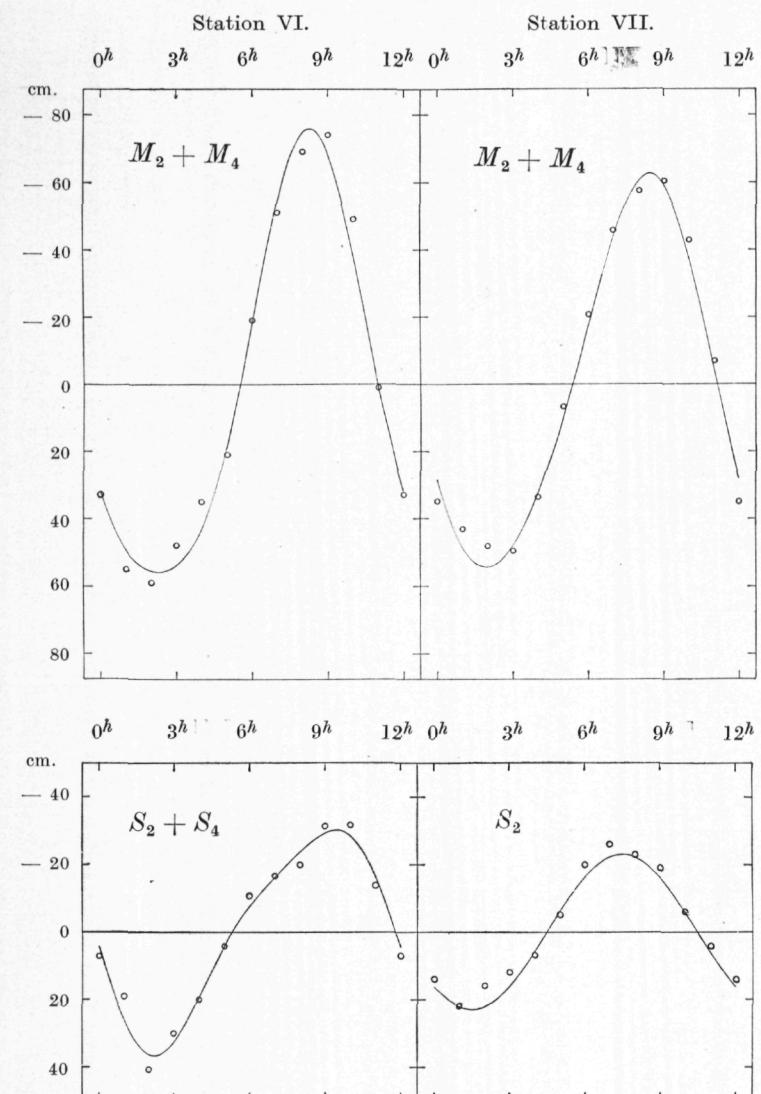


Fig. 8. Halbtägige interne Gezeiten.

Bewegungsrichtung der Wellen mag also schätzungsweise nach S  $60^\circ$  W sein, wenn mit Rücksicht auf die früheren Ergebnisse auch hier die entgegengesetzte Richtung als ausgeschlossen betrachtet wird.

### Interne Wellen mit nicht-kosmischen Perioden.

Nachdem, wie oben beschrieben, die nichtperiodischen Störungen aus den Registrierungen entfernt worden sind, zeigen diese, insbesondere diejenigen von Station VII, sehr deutliche Schwebungen, indem die Wellenamplituden ziemlich regelmässig ab und zunehmen. In Zwischenzeiten von etwa 4 Tagen folgen aufeinander 4 Amplitudenminima. Dies scheint darauf hinzudeuten, dass neben den internen Gezeiten auch Wellen von unbekannten Perioden in der Sprungschicht vorhanden sind. Um das Vorhandensein von solchen Perioden näher zu untersuchen wurde mit Benutzung von den Registrierungen bei den Stationen I und VII Schustersche Periodogramme konstruiert, in denen die Amplituden als Funktion von versuchsweise untersuchten Periodenlängen zwischen 4 und 24 Stunden dargestellt werden. Die berechneten Amplituden  $A$  in cm sind in den Tabellen 5 und 7 zusammen mit den zugehörigen Versuchsperioden  $p$ , in Stunden, wiedergegeben.

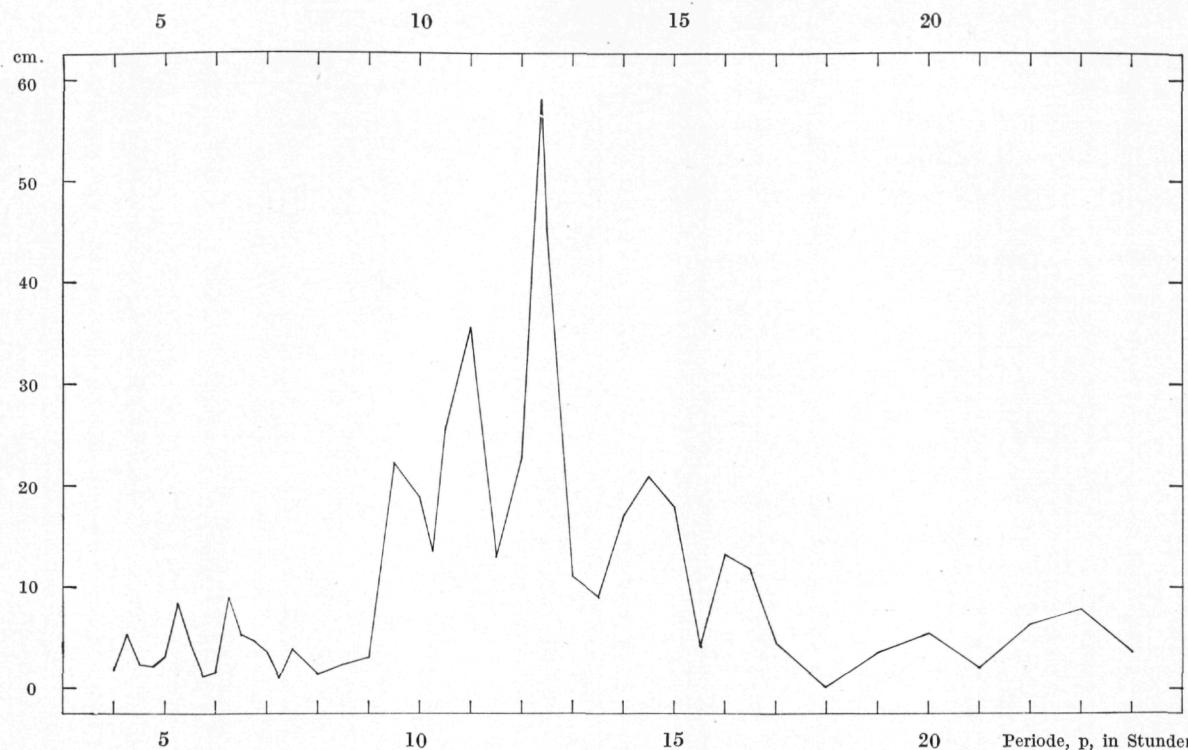


Fig. 9. Station VII. Periodogramm.

Tabelle 5.

Periodogramm. Station I.

$p$	$A$	$p$	$A$	$p$	$A$	$p$	$A$	$p$	$A$	$p$	$A$
4	1,5	6,75	1,9	9	10,8	12,42	69	16	2,5	23	8,2
4,5	0,5	7	1,7	9,5	14,2	13	9,8	17	1,8	24	5,2
5	1,6	7,25	7,2	10	12,4	13,5	17,7	18	4,3		
5,5	4,0	7,5	8,4	10,5	3,0	14	10,6	19	8,2		
6	0,7	7,75	3,5	11	17,3	14,5	13,6	20	12,0		
6,21	7,3	8	5,9	11,5	9,1	15	8,4	21	3,5		
6,5	9,6	8,5	7,4	12	59	15,5	10,3	22	7,0		

Das für die Station I geltende Periodogramm (Tabelle 5) zeigt neben dem den halbtägigen Tiden entsprechenden Maximum fünf wenig ausgeprägte Maxima, die den Versuchsperioden 9,5, 11, 13,5, 14,5 und 20 Stunden entsprechen. Um diese Perioden einer ersten Prüfung auf Realität zu unterwerfen, wurde die Expektanz ermittelt, und zwar als Mittelwert aller Amplituden, die zu ganzstündigen Versuchsperioden gehören, wobei doch die Amplitude der 12-stündigen Sonnentide ausgeschlossen wurde. Als Wert der Expektanz ergibt sich

$$m = 6,7 \text{ cm.}$$

Die Verhältnisse der maximalen Amplituden zur Expektanz werden in der Tabelle 6 angegeben. Der Forderung gemäss, dass ein Maximum des Periodogramms mindestens dreimal so gross sein muss wie die Expektanz, damit die entsprechende Periode mit einiger Wahrscheinlichkeit als real angenommen werden kann, scheint nach der Tabelle 6 keine der Perioden real zu sein.

Tabelle 6.

$p$	$k$
9,5	2,0
11	2,6
13,5	2,6
14,5	2,0
20	1,8

Tabelle 7.  
Periodogramm. Station VII.

$p$	$A$	$p$	$A$	$p$	$A$	$p$	$A$	$p$	$A$	$p$	$A$
4	1,8	5,75	0,9	7,5	3,8	10,5	25,5	14	17,1	18	0,1
4,25	5,2	6	1,5	8	1,4	11	35,5	14,5	20,9	19	3,5
4,5	2,3	6,25	8,9	8,5	2,3	11,5	12,9	15	17,9	20	5,4
4,75	3,1	6,5	5,2	9	3,0	12	22,6	15,5	4,1	21	2,0
5	3,1	6,75	4,6	9,5	22,2	12,5	45,2	16	13,1	22	6,3
5,25	8,3	7	3,5	10	18,8	13	11,0	16,5	11,7	23	7,8
5,5	4,4	7,25	1,0	10,25	13,5	13,5	9,0	17	4,4	24	3,6

Fig. 9 (Tabelle 7) gibt das für die Station VII geltende Periodogramm wieder, das bei der Nähe der Stationen VI und VII auch für die erstere repräsentativ sein muss. Es zeigt fünf mehr oder weniger ausgeprägte Maxima, unter denen dasjenige, das der Haupt-Mondtide entspricht, bei weitem überwiegt. Die übrigen Maxima entsprechen den Versuchsperioden 9,5, 11, 14,5, und 16 bis 16,5 Stunden. Die Expektanz wurde ganz wie oben ermittelt, als Wert derselben ergibt sich

$$m_1 = 9,5 \text{ cm.}$$

Die Verhältnisse  $k_1$  der maximalen

Amplituden zur Expektanz werden in der Tabelle 8 angegeben. Es erscheint nach der Tabelle nur für  $p = 11$  Stunden die Realität wahrscheinlich. Diese Periode kann aber in Anbetracht des grossen Verhältnisses  $k_1 = 3,7$  mit ziemlicher Zuverlässigkeit als reell angenommen werden. In zweiter Näherung wird daher die zur Periode  $p = 11$  Stunden gehörige

Tabelle 8.

$p$	$k_1$
9,5	2,4
11	3,7
14,5	2,2
16	1,4

Amplitude bei der Berechnung der Expektanz ausgeschlossen.  
Man findet sodann:

$$m_2 = 7,2 \text{ cm.}$$

Die entsprechenden Verhältnisse  $k_2$  werden in der Tabelle 9 angegeben. Diese Tabelle spricht für die Realität auch von den Perioden  $p = 9,5$  und  $p = 14,5$  Stunden, während die Periode  $p = 16$  Stunden sich als sehr zweifelhaft herausstellt.

Um diese Resultate zu erhärten und die Länge der Perioden genauer festzustellen, die als gesichert angesehen werden können, wurden Phasendiagramme konstruiert, welche die betreffenden Phasenwinkel als Funktion der Zeit darstellen. Dabei wurden in einem Schema, wo sämtliche Stundenwerte nach der zu untersuchenden Periode geordnet aufgestellt waren, die Mittelwerte der 1 bis  $n$ ten, der 2 bis  $(n+1)$ ten usw. Zeilen berechnet und harmonisiert. Die Anzahl  $n$  der Perioden in jeder Gruppe wurde immer so gewählt, dass der Einfluss der halbtägigen Mondtide möglichst beseitigt wurde. Wenn die Phasen nur kleine Schwankungen oder auch einen linearen Verlauf aufweisen, so ist darin eine Stütze für die Annahme der Realität von den entsprechenden Perioden zu schen. Die Berechnung der Phasendiagramme wurde auch für Station VI durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 10 bis 13, wo auch die zugehörigen Amplituden angegeben werden, eingetragen und in den Figuren 10 bis 16 graphisch wiedergegeben.

### Diskussion der Phasendiagramme.

#### Station I

$p = 9,5$  Stunden. Es wurden 20 Mittelwerte von je 18 aufeinanderfolgenden Perioden harmonisiert (Tabelle 10). Nullpunkt der Zeit ist 20. VIII. 12<sup>h</sup>.

Tabelle 10.

Gruppe	$\varphi$	A	Gruppe	$\varphi$	A
1	11	13	11	61	21
2	21	20	12	64	12
3	56	20	13	78	18
4	63	14	14	87	15
5	40	17	15	90	13
6	44	27	16	62	8
7	61	27	17	63	13
8	65	22	18	56	21
9	59	19	19	66	17
10	54	20	20	66	11

Die Phasenschwankungen sind nicht sehr gross und es scheint daher trotz der kleinen Amplitude nicht ausgeschlossen zu sein, dass die vorliegende Periode real ist. Um dies noch weiter zu prüfen, wurde die ganze Beobachtungsreihe in vier gleich grosse Teile geteilt, von denen jeder 9 Perioden umfasst, und diese wurden dann jede für sich analysiert (Tabelle 11).

Tabelle 11.

Mittel aus den 9,5-stündigen Perioden	Phase	Amplitude cm
1—9	29°	7
10—18	15°	17
19—27	82°	31
28—36	1°	10

Da sämtliche vier Phasenwerte im selben Quadrant liegen, wird die Annahme Wahrscheinlichkeit von Realität der Periode durch die in der Tabelle 11 angeführten Ergebnisse sehr verstärkt. Das ganze Material umfasst 37 9,5-Stunden-perioden. Die Harmonisierung vom Mittelwert ergibt:

$$W = 14 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{9,5} - 33^\circ \right)$$

$p = 11, 13, 5$  und  $14,5$  Stunden. Die entsprechenden Phasenwerte, die nicht angeführt werden, wechseln sehr stark. Es scheint somit keine von diesen Perioden Realität zu haben.

$p = 20$  Stunden. Es wurden 10 Mittelwerte von je 8 aufeinanderfolgenden Perioden harmonisiert (Tabelle 12). Nullpunkt der Zeit ist 20 VIII 12<sup>h</sup>.

Tabelle 12.

Gruppe	Phase	Amplitude
1	349	7
2	231	7
3	339	6
4	354	5
5	300	7
6	332	9
7	339	11
8	343	7
9	260	21
10	306	23

Die Phasenschwankungen sind, mit ein oder zwei Ausnahmen, ziemlich klein. Eine weitere Prüfung auf Realität wurde ganz wie oben vorgenommen, indem die Beobachtungsreihe in drei Teile geteilt wurde, von denen jeder 5 Perioden umfasst, und diese wurden dann jede für sich analysiert (Tabelle 13).

Tabelle 13.

Mittel aus den 20-stündigen Perioden	Phase	Amplitude cm
1—5	293°	8
6—10	307°	5
11—15	270°	10

Da die Phasenwerte nur sehr wenig voneinander abweichen, scheint es, besonders wenn man die kleine Zahl von nur fünf Perioden pro Gruppe berücksichtigt, wahrscheinlich, dass die Periode Realität hat. Die 9,5-Stunden-Welle kann nunmehr vielleicht als Oberwelle der 20 — Stunden-Welle aufgefasst werden. Wenn der Mittelwert von sämt-

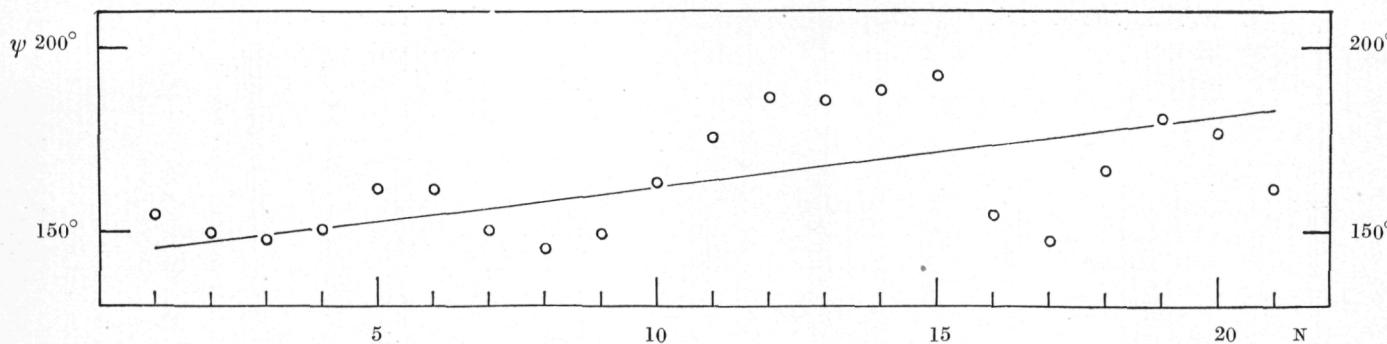


Fig. 10. Station VII. Phasendiagramm,  $p = 9^h, 5$ .

lichen siebzehn 20-Stundenperioden harmonisiert wird, ergibt sich:

$$W = 12 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{20} - 291^\circ \right)$$

$p = 6,5$  und  $7,5$  Stunden. Ausser den oben untersuchten Maxima des Periodogramms treten zwei kleine, zu kürzeren Versuchsperioden gehörende Maxima auf, nämlich  $p = 6,5$  bzw.  $7,5$  Stunden. Die erstere Periode ist wohl als vierteltägige Tide aufzufassen. Für die letztere wurde ein Phasendiagramm berechnet, das die Annahme von Realität aber keine Stütze gibt und daher hier nicht angeführt wird.

#### Stationen VI und VII

$p = 9,5$  Stunden. Es wurden 21 Mittelwerte von je 17 aufeinanderfolgenden Perioden harmonisiert (Tabelle 14, Figur 10).

Tabelle 14.

Gruppe	Station VI		Station VII	
	$\varphi$	$A$	$\varphi$	$A$
1	175	16	155	27
2	165	12	150	25
3	147	18	148	28
4	141	17	151	29
5	173	16	164	25
6	181	8	162	24
7	210	5	151	25
8	192	7	146	27
9	212	11	150	31
10	234	16	164	33
11	232	18	176	30
12	242	16	187	28
13	249	16	186	24
14	255	12	189	23
15	319	9	193	14
16	62	14	155	15
17	92	11	148	20
18	156	7	167	23
19	199	8	181	22
20	234	2	177	16
21	102	2	162	14

Die Phasenwerte der Station VII schwanken nur wenig, indem ihre grössten Abweichungen vom durchschnittlichen Werte nur  $\pm 24^\circ$  betragen. Da auch die Amplitude ziemlich konstant ist, von einigen niedrigen Werten am Ende abgesehen, scheint es wahrscheinlich, dass die vorliegende Periode reell ist. Die Phasenwerte zeigen aber eine schwache Steigerung von  $\beta = 1^\circ, 87$  pro Periode, was darauf

deuten könnte, dass die benutzte Versuchsperiode  $p$  von der richtigen Periodenlänge  $T$  etwas abweicht. Die letztere ergibt sich aus der Gleichung

$$T = \frac{360}{360 - \beta} p = 9,55 \text{ Stunden.}$$

Da diese Periodenlänge aber eine kleinere Amplitude ergibt, nämlich 22 cm gegen früher 24 cm, behalten wir den Periodenwert  $T = 9,5$  Stunden.

Die zur Station VI hörenden Phasenwerte zeigen einen sehr unklaren Verlauf und erlauben keine sicheren Schlüsse über die Realität der Periode.

Das ganze Material umfasst 379,5-Stundenperioden. Die Harmonisierung vom Mittelwert ergibt:

$$\begin{aligned} \text{Station VI} \quad W &= 10,6 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{9,5} - 170^\circ \right) + \\ &+ 5,2 \cdot \cos \left( 720^\circ \frac{t}{9,5} - 213^\circ \right) \\ \text{Station VII} \quad W &= 24,1 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{9,5} - 164^\circ \right) + \\ &+ 2,2 \cdot \cos \left( 720^\circ \frac{t}{9,5} - 152^\circ \right) \end{aligned}$$

Die gute Übereinstimmung zwischen den Phasenwerten der beiden Stationen scheint jedenfalls für die Realität der Periode zu sprechen.

\* \* \*

$p = 11$  Stunden. Es wurden 24 Mittelwerte von je 9 aufeinanderfolgenden Perioden harmonisiert (Tabelle 15).

Tabelle 15.

Gruppe	Station VI		Station VII		Gruppe	Station VI		Station VII	
	$\varphi$	$A$	$\varphi$	$A$		$\varphi$	$A$	$\varphi$	$A$
1	234	27	297	48	13	239	54	262	29
2	329	43	282	66	14	249	47	277	36
3	318	52	280	68	15	243	49	276	36
4	301	43	274	62	16	246	51	265	36
5	294	47	268	59	17	246	51	252	33
6	296	52	273	57	18	250	43	250	26
7	281	46	275	50	19	249	47	241	27
8	266	43	269	48	20	250	57	248	39
9	250	50	265	46	21	261	59	252	52
10	252	51	266	38	22	279	54	262	57
11	239	54	261	22	23	283	58	265	50
12	233	57	252	23	24	287	53	263	49

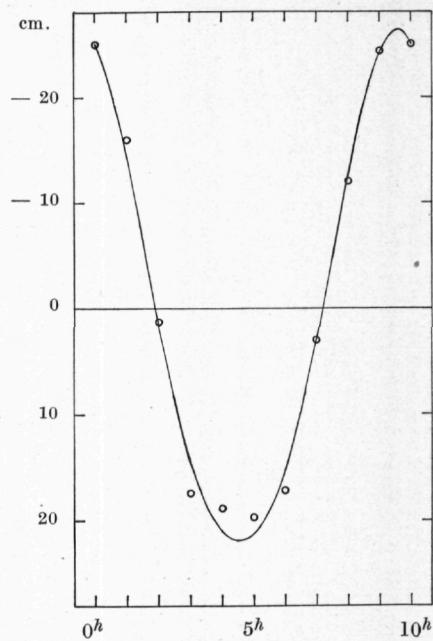


Fig. 11. Station VII. Periode  $9^h,5$ .

Die Phasenwerte der Station VII, die in Figur 12 graphisch eingetragen sind, folgen mit grosser Genauigkeit die Gerade

$$\varphi = 279^\circ - 1^\circ,10 \cdot n$$

Dies gibt die Periodenlänge  $T = 10^h,97$ . Die Amplitudenwerte sind ziemlich gross, schwanken aber beträchtlich.

Die zur Station VI gehörenden Phasenwerte zeigen keinen klaren Gang. Es wurde daher versuchsweise ein Phasendiagramm mit Verwendung der Versuchsperiode  $p = 10^h,5$  konstruiert, indem 22 Mittelwerte von je 13 aufeinanderfolgenden solchen Perioden harmonisiert wurden (Tabelle 16).

Tabelle 16.

Gruppe	$\varphi$	Gruppe	$\varphi$
1	109	12	184
2	108	13	202
3	106	14	218
4	110	15	237
5	109	16	243
6	119	17	283
7	125	18	304
8	131	19	346
9	144	20	399
10	156	21	404
11	164	22	406

Die zugehörigen Phasenwerte zeigen einen linearen Gang nach der Gleichung

$$\varphi = 34^\circ + 15^\circ,25 \cdot n$$

Dies ergibt die Periodenlänge  $T = 10^h,96$  in vorzüglicher Übereinstimmung mit dem oben bei der Station VII erhaltenen Wert. Wir nehmen hernach als Periodenlänge 11,0 Stunden an.

Es wurde bei der Harmonisierung auch Phase und Amplitude der ersten Oberwelle berechnet. Obgleich die Phasenwerte etwas gerstreut ausfallen, schliessen sie sich mit mässigen Abweichungen den folgenden Geraden an:

Station VI  $\varphi = 294^\circ - 0^\circ,6 \cdot n$

Station VII  $\varphi = 203^\circ + 4^\circ,2 \cdot n$

Dies gibt die Periodenlängen  $5^h,50$  bzw.  $5^h,53$ .

Wenn das ganze Material, das 32 volle 11-Stundenperioden umfasst, benutzt wird, ergibt sich:

$$\begin{aligned} \text{Station VI} \quad W &= 32,9 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{11} - 277^\circ \right) + \\ &+ 8,5 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{5,5} - 285^\circ \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Station VII} \quad W &= 36,1 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{11} - 277^\circ \right) + \\ &+ 4,4 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{5,5} - 261^\circ \right) \end{aligned}$$

\* \* \*

$p = 14,5$  Stunden. Es wurden 19 Mittelwerte von je 6 aufeinanderfolgenden Perioden harmonisiert (Tabelle 17, Figur 14).

Tabelle 17.

Gruppe	Station VI		Station VII		Gruppe	Station VI		Station VII	
	$\varphi$	$A$	$\varphi$	$A$		$\varphi$	$A$	$\varphi$	$A$
1	27	6	207	11	11	180	11	127	22
2	104	19	138	24	12	136	17	132	23
3	85	27	100	29	13	135	14	132	29
4	82	18	98	40	14	107	11	114	32
5	92	38	92	37	15	150	15	120	25
6	111	23	110	36	16	283	8	75	15
7	129	47	105	43	17	262	31	190	12
8	136	42	101	34	18	231	44	192	22
9	135	34	119	32	19	223	39	183	22
10	134	22	105	22					

Die Phasenwerte befolgen im Grossen und Ganzen sehr gut den Geraden:

$$\text{Station VI } \varphi = 81^\circ + 4^\circ,9 \cdot n$$

$$\text{Station VII } \varphi = 85^\circ + 3^\circ,0 \cdot n$$

Wenn zunächst von den abnormen Phasenwerten am Beginn und am Ende des Materials abgesehen wird, sind die Abweichungen von diesen Geraden sehr klein, besonders wenn man berücksichtigt, dass bei der geringen Zahl von nur sechs Perioden, die den einzelnen harmonisierten Mittelwerten zu Grunde liegen, keine vollständige Ausgleichung von etwaigen Unregelmässigkeiten zu erwarten ist. Von den berücksichtigten Phasenwerten sind drei voneinander unabhängig, d. h. die den entsprechenden Mittelwerten zu Grunde liegenden Teile des Materials greifen nicht in einander. Diese Ergebnisse sprechen stark zu Gunsten der Realität der untersuchten Periode. Die Periodenlänge berechnet sich zu  $14^h,70$  bzw.  $14^h,62$ , im Mittel  $14^h,66$ . Die Amplitudenwerte schwanken beträchtlich, besonders bei der Station VI.

Es wurden Phase und Amplitude der Welle berechnet unter Zugrundelegung des Teiles des Beobachtungsmaterials,

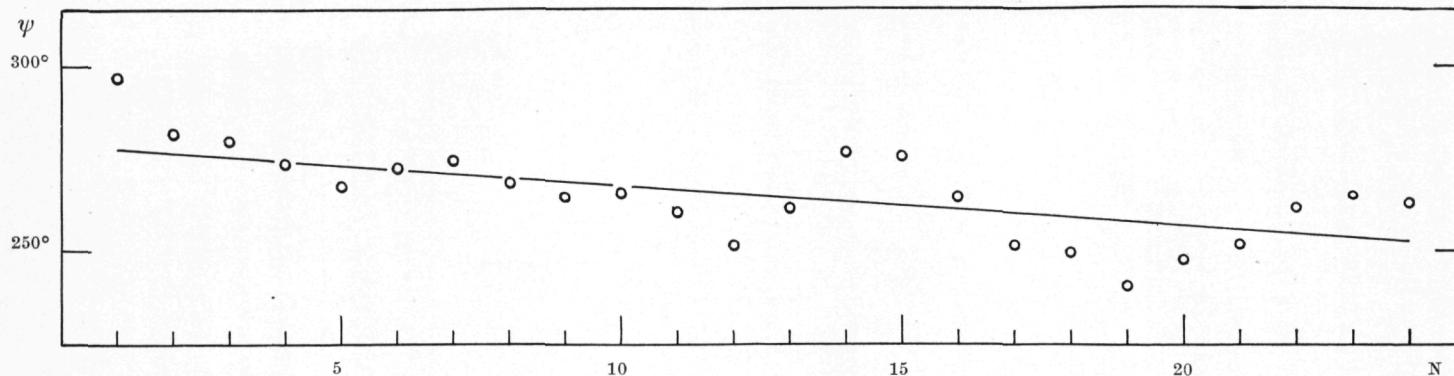


Fig. 12. Station VII. Phasendiagramm,  $p = 11^h$ .

innerhalb welches die Phase linearen Gang zeigt, welcher Teil 18 Perioden umfasst. Diese Berechnung ergibt:

$$\text{Station VI} \quad W = 25 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{14,66} - 76^\circ \right)$$

$$\text{Station VII} \quad W = 28 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{14,66} - 62^\circ \right)$$

Es wurden bei der Konstruktion der Phasendiagramme auch Phase und Amplitude der ersten Oberwelle berechnet. Obschon einige von den ersten Periodengruppen konstante Phasenwerte aufweisen, fallen die übrigen Phasenwerte so unregelmässig aus, dass keine sicheren Schlüsse über das Vorhandensein einer Oberwelle sich ziehen lassen.

Es ist verlockend eine Erklärung für die Entstehung innerer Wellen von dieser Periode in die unter dem Namen Trägheitsströmungen bekannte Erscheinung zu suchen, die während der letzten Jahren in der Ostsee und auch anderswo nachgewiesen und untersucht worden ist<sup>1)</sup>. Die genannte Erscheinung besteht darin, dass Wassermassen, die von meteorologischen oder anderen Ursachen in Bewegung gesetzt worden sind, durch die Erdrotation eine zirkulare Bahn zu beschreiben gebracht werden, die im Laufe eines Pendeltages vollgezogen wird. Zwar überlagern sich öfters andere Strömungen den so entstehenden Kreisstrom. Wenn geeignete topographische Unregelmässigkeiten vorhanden sind, müssen solche Trägheitsströmungen in geschichtetem Wasser interne Wellen von der Periode des Pendeltages herbeiführen. Obgleich Trägheitsströmungen noch nicht im Kattegatt nachgewiesen worden sind, ist es zu erwarten, dass sie auch dort auftreten. Die Länge des Pendeltages auf die in Frage kommende Latitude ist 14,3 Stunden, was allerdings nicht exakt mit der gefundenen Periodenlänge von 14,66 Stunden übereinstimmt. Es muss aber bemerkt werden, dass in der Ostsee auf etwa dieselbe Latitude die Umlaufszeit des rotierenden Stromvektors, aus bei nahe 400 halbstündlichen Beobachtungen, über 10 Tage erstreckt, zu 14,6 Stunden berechnet wurde<sup>2)</sup>.

Die Phase einer so entstehenden internen Welle muss natürlich in hohem Masse von den meteorologischen Verhältnissen beeinflusst werden können. Wenn die vorstehende Erklärung zutrifft, ist daher die Unruhe der Phase am

Beginn und am Ende des Materials als eine Folge der Windstöße am 5. bzw. am 19. November duschaus begreiflich.

\* \* \*

$p = 16$  Stunden. Es wurden für Station VII 16 Mittelwerte von je 7 aufeinanderfolgenden Perioden ausgerechnet und harmonisiert (Tabelle 18).

Tabelle 18.

Gruppe	$\varphi$	$A$
1	175	23
2	166	23
3	161	22
4	153	24
5	134	31
6	112	22
7	114	28
8	90	16
9	29	8
10	-46	6
11	-129	13
12	-98	10
13	-99	24
14	-141	24
15	-160	13
16	-223	9

Die Phase zeigt wiederum einen linearen Gang nach der Gleichung

$$\varphi = 277^\circ - 30^\circ,8 \cdot n$$

was eine Periodenlänge  $T = 14^h,7$  ergibt. Eine etwaige  $16^h$ -Welle wird also bei dieser Mittelwertbildung von der

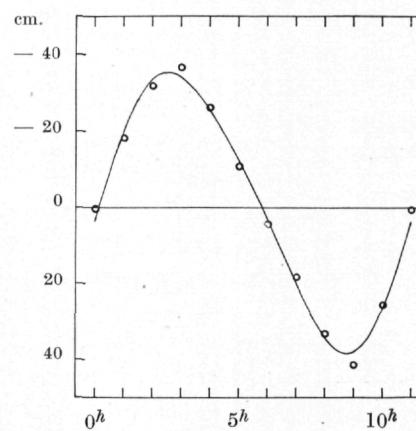


Fig. 13. Station VII. Periode  $11^h,0$ .

<sup>1)</sup> Svenska Hydr.-Biol. Komm. Skrifter. Ny serie. Hydrografi. Hafte XI. Göteborg 1934.

<sup>2)</sup> Medd. Göteborgs Högskolas Ocean. Inst. N:o 6, 1934.

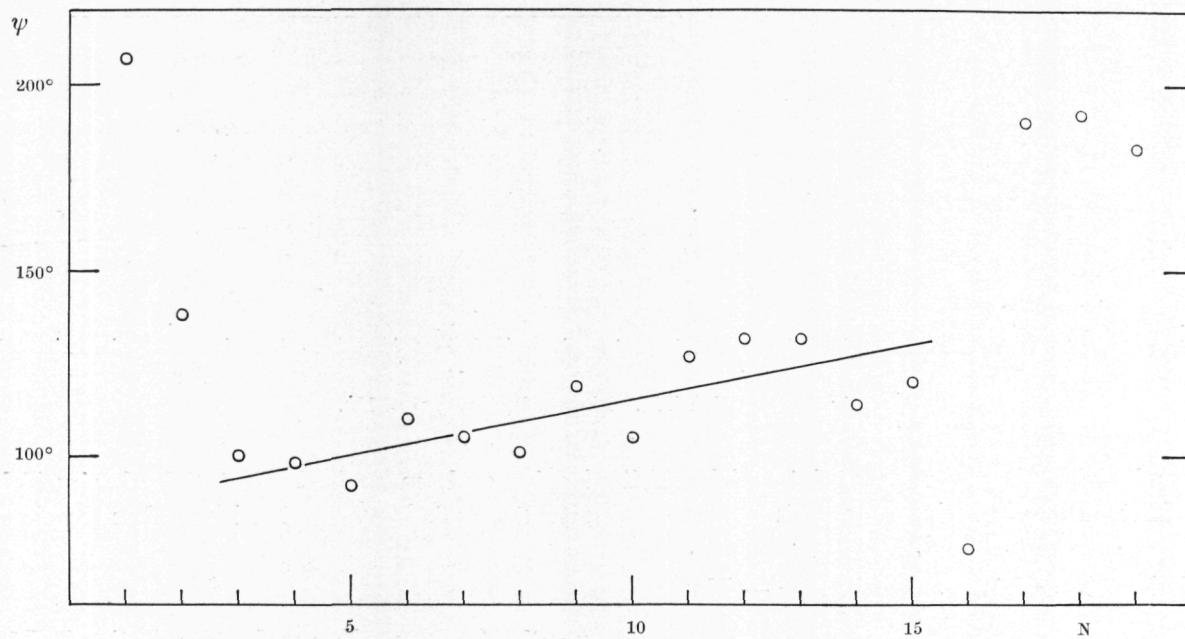


Fig. 14. Station VII. Phasendiagramm,  $p = 14^h, 5$ .

$14^h, 66$ —Welle maskiert. Die Störung dieser letzteren Welle berechnet sich leicht zu  $13 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{14,66} - 62^\circ \right)$ , was vektoriell folgendermassen dargestellt werden kann:

$$\text{Störung} = 13 \cdot e^{-i a}$$

$$\text{mit der Kürzung } a = \left( 360 \frac{t}{14,66} - 62 \right) \frac{2\pi}{360}$$

Die Zeit  $t$  soll dabei der Mitte von dem Intervall gleichgesetzt werden, das dem betreffenden harmonisierten Mittelwert zugrundeliegt. Daher:

$$t = 56^h, 5 + n \cdot 16^h$$

Ebenso können die zur Tabelle 18 zugrundeliegenden Mittel-

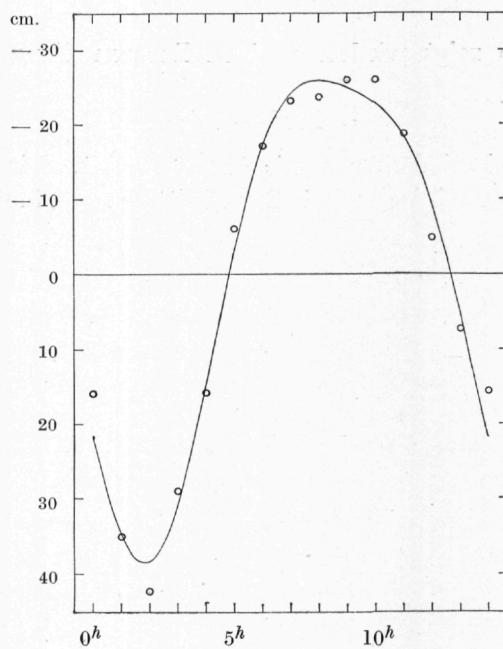


Fig. 15. Station VII. Periode  $14^h, 66$ .

werte samt die etwaige  $16^h$ —Welle vektoriell dargestellt werden als  $A \cdot e^{i(\varphi+\pi)}$  bzw.  $A_o \cdot e^{i(\varphi_o+\pi)}$

Es gilt offenbar:  $A \cdot e^{i(\varphi+\pi)} = A_o e^{i(\varphi_o+\pi)} + 13 \cdot e^{-i a}$

$$A_o \cdot e^{i \varphi_o} = A \cdot e^{i \varphi} + 13 \cdot e^{-i a}$$

Mit Benutzung von dieser Gleichung wurde  $\varphi_o$  durch graphische Konstruktion bestimmt (Tabelle 19). Die fünf letzten Phasenwerte können nicht angegeben werden, da die  $14^h, 66$ —Welle am Ende des Materials starke Störungen aufweist.

Tabelle 19.

$n$	$\varphi$
1	145
2	132
3	127
4	140
5	136
6	131
7	138
8	140
9	144
10	154
11	171

Die gefundenen  $\varphi_o$ —Werte sind sehr konstant. Da die Phasenwerte 1 und 8, 2 und 9 usw. voneinander unabhängig sind, spricht dies für die Realität der Periode. Da die Phasenwerte keinen Gang zeigen, wäre die Periode mit  $T = 16^h, 0$  richtig getroffen. Als Mittel der Phasenwerte ergibt sich  $\varphi_o = 142^\circ$ , als Amplitudenmittel ergibt sich  $A_o = 15 \text{ cm}$ .

Elimination der  $14^h, 66$ —Welle mitsamt  $M_2$  kann auch dadurch erreicht werden dass jede zu harmonisierende Mittelwert aus zehn Perioden errechnet wird. Die entsprechenden Phasen- und Amplitudenwerte sind in der Tabelle 20 angeführt worden.

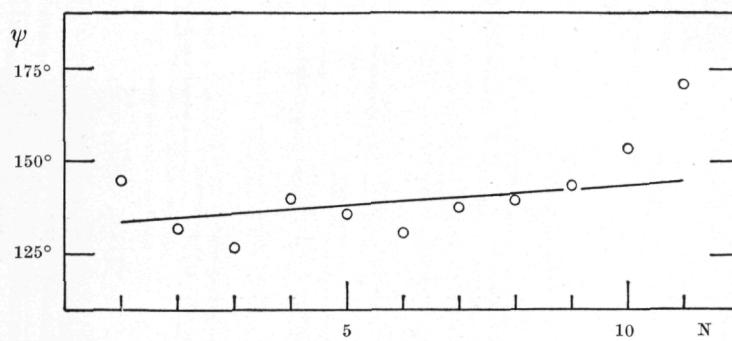


Fig. 16. Station VII. Phasendiagramm,  $p = 16^h$ .

Tabelle 20.

Gruppe	Station VI		Station VII	
	$\varphi$	$A$	$\varphi$	$A$
1	134	12	141	20
2	134	13	145	20
3	126	17	134	16
4	150	20	135	15
5	148	17	119	15
6	162	17	156	11
7	166	15	129	17
8	163	10	144	7
9	172	10	170	2
10	251	10	275	10
11	220	11	219	12
12	231	9	267	6
13	218	14	210	11

Von den zur Station VII hörenden Phasenwerten zeigen die acht oder neun ersten recht mässige Variationen, was die oben gefundenen Ergebnisse bestätigt. Von den zur Station VI hörenden Phasenwerten zeigen die neun ersten einen linearen Gang nach der Gleichung:

$$\varphi = 120^\circ + 6^\circ,0 \cdot n$$

was die Periodenlänge  $T = 16^h,3$  ergibt.

Wenn der Teil des Materials benutzt wird, wo die Phase konstant ist bzw. linearen Gang zeigt, und dabei die Periodenlänge  $T = 16^h,2$  benutzt wird, ergibt sich:

$$\text{Station VI} \quad W = 18 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{16,2} - 105^\circ \right)$$

$$\text{Station VII} \quad W = 14 \cdot \cos \left( 360^\circ \frac{t}{16,2} - 129^\circ \right)$$

### Zusammenfassung.

Mittelst im Sprungschicht schwebender Schwimmkörper von etwa 225 Liter Volumen, die mit Batygraphen versehen waren, sind auf mehreren Punkten in der Nähe des Fladengrundes die Bewegungen der Sprungschicht registriert worden. Die Beobachtungen erstrecken sich über insgesamt 35 Tage im August, September und November 1932. Es stellt sich in erster Linie heraus, dass die internen Bewegungen

von den halbtägigen Gezeiten beherrscht werden, welche dieselbe Grössenordnung erreichen wie die langsameren, unperiodischen Bewegungen. Demzufolge muss man damit rechnen, dass eintägige hydrographische Lotungen, wie die der schwedischen und dänischen Leuchtschiffe, z. T. von den wahren Tagesmitteln sehr stark abweichen können. Unter den halbtägigen Gezeiten ist die Mondtide bei weitem die Grösste. An mehreren Orten, besonders nahe am Grunde, tritt die vierteltägige Mondtide auf; eintägige Gezeiten lassen sich aber nirgendwo nachweisen. Gleichzeitige Registrierungen an verschiedenen Orten ermöglichen eine Beurteilung über die Fortplantungsrichtung der Wellen und zwar ergibt es sich, dass die Wellen sowohl nördlich als südlich vom Fladengrunde etwa in die Richtung nach S  $50^\circ$  W laufen, d. h. sie gehen von der schwedischen Küste beinthe rechtwinkelig aus. Die internen Gezeitenwellen in dieser Gegend werden daher vermutlich bei der schwedischen Küstenbank erzeugt und es liegt somit der Fall vor, der ZEILON in seinem »Shelf« Experiment untersucht hat.<sup>1)</sup>

Bei der Station I somit bei den nördlich vom Fladengrunde gelegenen Stationen VI und VII scheinen interne Wellen von nicht-kosmischen Perioden aufzutreten. Durch Konstruktion von Schusterschen Periodogrammen und dann von Phasendiagrammen wurden bei den letztgenannten Stationen vier solche Perioden wahrscheinlich gemacht. (Siehe Zusammenstellung in der Tabelle 21).

Tabelle 21.

Periodenlänge (Aus Phasen- diagrammen)		Bei der Phasen- bestimmung benutzte Periodenlänge	Amplitude cm		Phase	
VI	VII		VI	VII	VI	VII
—	9,55	9,5	10,6	24,1	170°	164°
10,96	10,97	11,0	32,9	36,1	277°	277°
14,70	14,62	14,66	22,9	32,0	73°	44°
16,3	16,1	16,2	17,7	14,3	105°	129°

Während die Realität von der Periode  $T = 11,0$  Stunden sichergestellt sein darf, sind die Ergebnisse weniger entscheidend betreffs der übrigen Perioden. Eine geplante erneute Untersuchung in denselben Gewässer dürfte hierüber Entscheidung bringen.

Über den Ursprung von diesen Perioden kann vorläufig nicht viel gesagt werden. Die Periode  $T = 14,6$  Stunden kann vielleicht in Verbindung mit der »Trägheitsperiode« von 12 Pendelstunden gesetzt werden, die in dieser Breite 14,3 Stunden gleichkommt. Betreffs der übrigen Perioden liegt die Annahme von internen Seichen am nächsten, aber bei dem kleinen Abstand von nur 5,5 km zwischen den beiden Beobachtungsorten gibt das Material keinen Hinweis betreffs der Orientierung von den eventuellen Seichen.

Bei der Station I wurden zwei nicht-kosmische Perioden wahrscheinlich gemacht, nämlich  $p = 9,5$  Stunden mit der Amplitude 14 cm. und  $p = 20$  Stunden mit der Amplitude 12 cm.

<sup>1)</sup> Medd. Göteborgs Högskolas Ocean. Inst. N:o 8, Göteborg 1934.

Tiefe der Sprungschicht.  
(Tiefe in m; mitteleuropäische Zeit.)

Station I.

1932	1 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	4 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>
VIII 20	—	13,9	14,0	13,8	13,9	14,2	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,3
21	14,1	14,0	13,9	13,8	13,9	14,0	14,0	14,0	14,1	14,0	13,5	12,8
	12,3	12,0	11,6	11,9	12,1	12,5	12,9	13,0	13,0	13,4	13,3	13,0
22	12,2	11,8	12,0	12,1	12,1	12,5	13,2	13,6	13,6	13,8	13,9	13,5
	12,9	13,0	12,9	12,9	12,4	12,3	12,4	12,4	12,7	12,9	13,1	12,6
23	12,3	11,7	11,2	11,2	11,3	11,0	10,9	10,9	11,0	11,1	11,1	11,2
	11,6	11,7	11,6	11,4	11,2	11,2	10,9	10,9	10,7	10,7	10,9	11,1
24	11,4	11,9	11,8	11,5	11,1	10,7	10,6	10,6	10,6	11,0	11,7	12,0
	12,0	11,7	11,6	11,5	10,9	10,9	10,6	10,4	10,7	10,9	10,9	11,3
25	11,2	11,0	11,0	11,0	10,8	10,6	10,5	10,9	11,0	11,0	11,0	11,4
	12,2	12,3	12,3	—	—	11,3	11,0	11,0	11,1	11,5	12,2	13,1
26	13,4	13,2	12,7	12,1	11,8	11,5	10,3	10,3	10,3	10,8	12,2	12,6
	13,0	13,2	13,0	12,9	12,6	10,6	10,8	10,7	10,9	11,4	12,2	13,2
27	14,0	14,5	14,6	14,6	14,1	13,2	12,3	11,8	11,6	12,2	13,0	14,2
	15,1	16,1	15,9	15,4	14,5	14,2	13,3	12,7	12,1	12,9	13,9	14,1
28	14,5	15,2	15,5	15,0	13,7	12,4	10,8	10,4	10,5	10,9	11,0	11,5
	11,9	12,3	12,7	12,2	11,2	10,6	10,3	10,1	10,0	10,0	10,1	10,2
29	10,6	10,9	11,2	11,2	10,9	10,9	11,0	10,0	9,9	9,4	8,9	9,6
	10,5	11,3	11,9	12,1	12,3	12,1	11,4	10,5	10,2	10,0	10,0	10,1
30	10,6	12,1	12,5	12,7	13,2	13,6	13,0	13,0	12,7	12,0	11,4	11,1
	11,3	12,7	13,0	13,0	13,0	13,0	12,8	12,5	12,3	12,4	12,2	—
31	12,5	12,8	13,5	13,9	14,8	14,9	14,7	14,5	13,9	13,6	13,6	13,7
	14,3	15,1	15,6	16,1	16,4	16,4	16,2	15,8	15,2	15,0	15,4	16,1
IX 1	16,6	16,6	17,3	17,4	17,4	16,9	16,0	15,3	14,5	14,2	14,3	15,1
	15,6	16,3	16,7	16,7	16,7	16,4	16,2	15,1	14,6	14,3	14,4	14,5
2	14,8	15,1	15,9	16,5	16,6	16,3	16,0	16,4	16,4	17,0	17,9	19,0
	19,4	19,8	19,3	18,6	17,4	17,2	16,6	16,7	16,2	15,5	14,9	14,0
3	14,0	14,1	14,0	13,2	12,6	12,8	12,8	13,4	13,1	13,1	13,1	13,6
	13,8	14,2	14,3	14,3	13,8	14,0	13,2	12,7	12,1	12,5	12,4	12,3
4	12,8	13,0	13,4	13,6	13,4	12,4	11,0	—	—	—	—	—

Station II.

1932	1 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	4 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>
VIII 20	—	—	—	—	—	16,6	16,5	16,5	16,7	17,1	17,5	17,6
21	17,5	17,2	17,1	17,1	16,4	16,4	16,4	16,6	17,0	17,0	17,3	17,4
	16,8	16,6	15,9	15,4	16,2	16,4	16,5	17,0	16,9	17,0	17,0	16,9
22	16,6	16,0	15,5	15,3	15,2	15,3	15,9	16,1	16,4	16,6	16,7	16,6
	16,6	16,7	16,9	16,8	16,8	16,5	16,2	16,1	16,3	16,7	16,6	16,6

Station III.

1932	1 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	4 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>
VIII 27	21,9	23,0	24,6	24,9	25,2	23,3	23,1	22,5	22,0	20,8	20,9	21,6
	24,5	23,3	25,0	26,4	27,2	26,4	25,2	23,7	22,3	21,3	20,8	21,3
28	22,4	23,8	25,1	25,4	26,3	27,1	26,0	24,4	23,4	19,5	18,4	18,7
	20,8	21,6	22,2	21,6	20,6	20,8	21,2	22,7	22,5	22,2	21,7	20,5
29	19,7	20,6	22,1	23,0	23,5	23,4	23,2	23,2	23,4	23,6	22,0	21,1
	20,3	20,9	21,5	22,3	22,2	22,3	22,4	23,9	24,4	24,0	23,1	21,6
30	21,2	21,0	20,9	21,0	21,5	22,1	23,9	25,1	25,7	26,8	25,4	24,1
	23,0	21,9	21,8	22,2	22,1	22,8	23,1	24,0	25,1	26,0	25,2	23,8
31	22,2	22,0	21,7	21,3	22,5	23,2	24,2	24,8	24,3	24,2	24,1	23,6
	23,8	24,0	23,3	24,0	—	—	—	—	—	—	—	—

Station III.

1932	1 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	4 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	
XI 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21,9	21,6	21,1
	21,0	20,9	20,8	20,0	19,4	19,7	19,6	19,5	20,4	20,3	20,1	18,9	—
2	18,6	18,5	19,4	19,1	18,7	18,4	19,7	21,9	23,0	23,1	21,8	21,0	—
	20,0	18,9	19,1	20,0	21,6	22,4	23,3	24,1	24,4	23,1	22,0	20,5	—
3	19,1	17,5	16,1	16,0	18,0	19,7	18,1	18,5	19,5	19,8	19,8	19,5	—
	20,4	20,0	19,1	18,0	17,9	17,9	18,1	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	—
4	18,9	19,1	19,1	19,1	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	18,6	—
	18,5	18,5	19,0	18,9	18,7	18,3	18,0	18,0	17,7	18,1	18,9	19,4	20,1
5	19,9	19,1	17,4	16,0	16,5	17,0	17,0	17,0	17,0	17,6	18,6	20,2	20,5
	19,1	18,4	17,8	17,6	16,5	16,0	17,8	17,8	17,8	17,2	18,3	19,5	20,2
6	16,5	15,5	15,1	14,7	14,7	14,5	14,5	14,5	14,5	15,1	15,3	15,8	—

Station IV.

1932	1 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup> </
------	----------------	----------------	-------------------

Station VI.

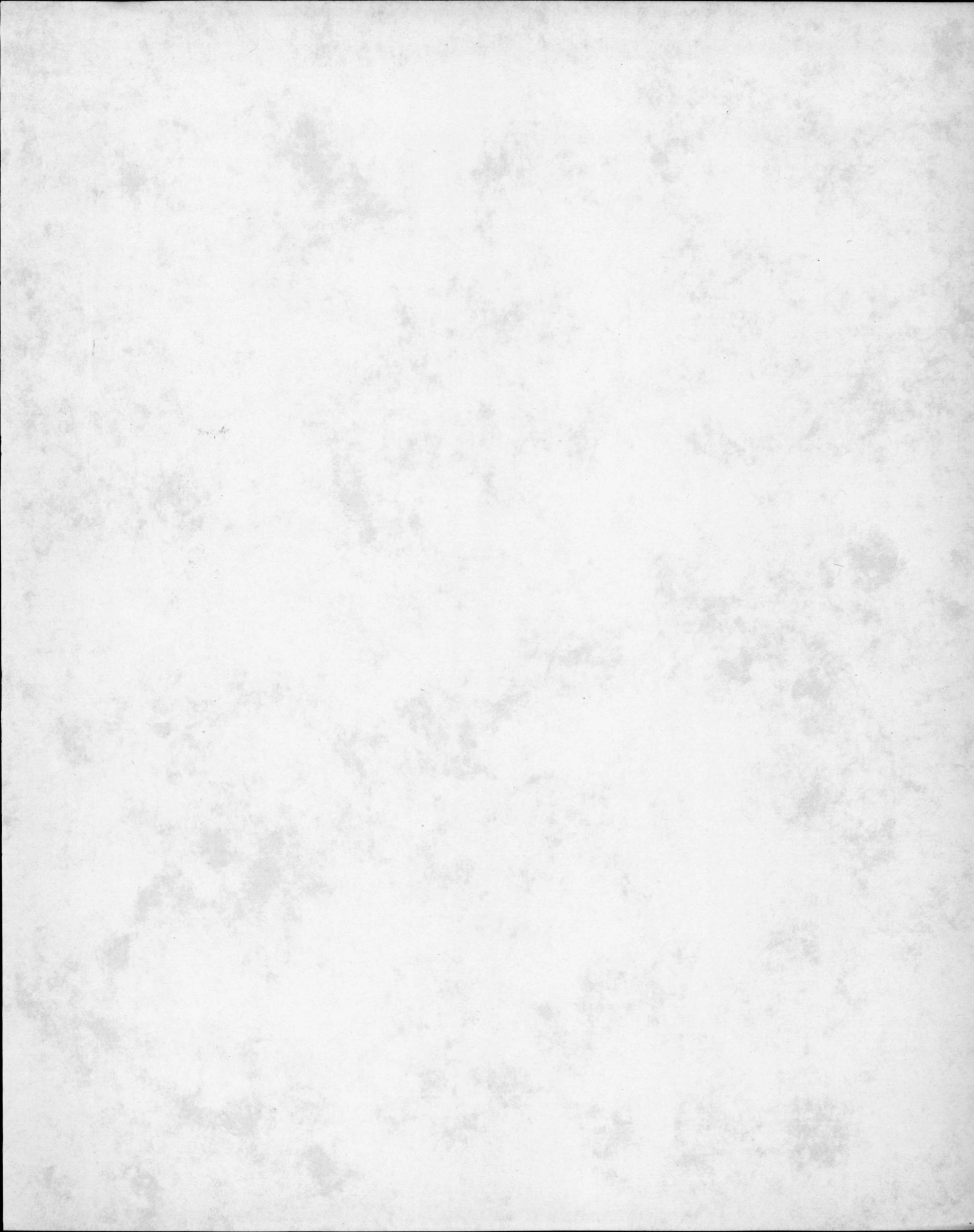
Station VII.

1932	1 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	4 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>
XI 6												
7	16,4 16,3	16,6 16,8	16,8 16,9	17,0 17,1	17,4 17,5	17,5 17,5	17,5 17,4					
7	16,8 17,3	16,8 15,3	15,0 15,1	15,2 15,5	16,8 17,1	16,7 16,7	16,7 16,5					
8	16,4 14,8	14,9 15,1	15,2 15,8	16,6 16,6	17,1 17,1	17,1 17,1	17,1 17,2					
8	18,0 18,0	15,7 14,3	14,5 14,7	14,3 14,1	14,0 14,0	14,0 14,6	14,6 14,9					
9	15,1 15,5	16,0 15,0	15,0 15,0	14,7 15,1	16,7 16,8	17,4 15,9	15,9 15,8					
9	16,7 17,4	17,5 16,9	16,1 15,9	15,5 15,7	16,4 16,0	15,9 15,9	16,4 16,4					
10	16,6 17,4	18,0 17,5	16,1 15,5	15,1 15,5	16,6 17,3	18,1 18,1	18,5 18,5					
10	19,1 20,0	21,5 19,0	18,7 18,1	18,0 18,0	18,5 18,9	18,4 18,4	18,3 18,3					
11	18,2 17,7	16,9 16,2	15,7 15,2	15,3 15,8	16,6 17,7	19,4 19,4	19,7 19,7					
11	18,9 18,1	18,0 18,0	18,0 17,2	16,8 16,9	17,2 17,7	18,0 18,0	18,0 18,0					
12	17,3 18,0	18,6 19,1	19,2 19,0	17,9 16,4	16,0 15,7	15,7 15,4	15,8 15,8					
12	15,3 15,0	14,8 14,7	15,0 15,0	15,2 15,5	15,4 15,1	15,0 15,0	15,4 16,6					
13	17,6 18,1	18,4 18,6	18,4 17,4	17,1 16,9	16,9 17,2	17,5 17,5	18,1 18,1					
14	18,8 18,4	18,0 17,9	17,7 17,6	17,3 16,6	16,0 15,7	16,0 16,0	17,4 17,4					
14	18,0 18,3	18,6 18,6	18,1 17,4	16,5 16,3	16,3 15,6	15,7 15,7	16,1 16,1					
15	16,7 17,1	17,2 17,4	16,3 15,7	15,4 15,4	15,4 15,7	16,0 16,1	16,1 16,2					
15	16,8 17,4	17,4 17,0	16,5 16,1	15,9 15,9	16,0 16,0	15,8 15,8	15,9 15,9					
16	15,9 15,9	16,1 16,1	16,2 16,3	16,4 16,3	16,2 15,9	15,8 15,8	15,6 15,6					
16	15,5 15,5	15,8 16,1	16,4 16,4	16,5 16,4	16,0 15,9	15,7 15,7	15,5 15,5					
17	15,5 15,4	15,4 15,4	15,6 16,1	16,2 16,1	15,8 15,5	15,4 15,4	15,3 15,3					
17	15,2 15,2	15,8 16,3	16,7 16,7	16,8 16,6	15,7 15,1	14,8 14,8	14,4 14,4					
18	14,5 15,1	15,9 16,0	16,5 16,6	16,5 16,1	15,6 15,1	14,9 14,9	14,6 14,6					
18	14,4 14,4	14,8 15,1	15,2 15,9	16,1 16,4	16,6 15,6	15,3 15,3	15,2 15,2					
19	15,3 15,5	16,0 16,6	17,1 17,5	17,5 16,8	15,5 15,1	15,7 15,7	15,7 15,7					
19	16,2 16,7	18,4 19,1	18,2 17,9	17,1 16,6	16,2 15,9	15,8 15,8	16,0 16,0					
20	14,9 15,4	16,1 16,5	16,3 16,0	15,4 15,4	16,0 15,2	14,2 14,4	14,1 14,1					
20	14,5 14,6	14,6 14,7	15,4 15,4	15,9 16,0	16,0 15,5	15,0 15,0	14,9 14,9					
21	14,9 14,8	14,8 15,0	15,0 15,0	15,2 15,3	16,1 —	— —	— —					

1932	1 <sup>h</sup>	2 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>	4 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>
XI 6												
7	— —	15,1 15,0	15,3 16,0	16,1 16,1	16,5 16,5	17,5 17,5	18,5 18,5	18,8 18,5	18,5 18,5	18,8 18,5	18,8 18,5	18,5 18,5
8	17,5 17,3	16,9 16,9	16,9 16,9	17,3 17,3	17,5 17,5	17,8 17,8	18,3 18,3	18,7 18,7	18,7 18,7	18,8 18,8	18,8 18,8	18,1 18,1
8	17,6 17,4	17,0 16,4	16,0 16,1	16,1 16,5	16,6 16,6	16,2 16,2	16,0 16,0	16,0 16,0	16,0 16,0	16,0 16,0	16,0 16,0	16,2 16,2
9	17,3 17,3	17,1 16,8	16,8 16,2	16,0 15,4	15,6 15,6	15,5 15,5	15,9 15,9	16,0 16,0	16,3 16,3	16,9 16,9	17,0 17,0	17,0 17,0
10	19,8 19,6	18,4 17,6	17,1 16,6	16,9 16,9	17,8 17,8	18,0 18,0	19,5 19,5	20,1 20,1	20,1 20,1	20,1 20,1	20,1 20,1	20,1 20,1
11	19,2 18,1	17,5 17,1	16,8 16,8	17,0 17,0	17,7 17,7	18,7 18,7	19,7 19,7	20,8 20,8	19,1 19,1	19,1 19,1	19,1 19,1	19,1 19,1
12	18,1 17,8	17,1 16,8	16,9 16,9	17,0 17,0	17,5 17,5	17,1 17,1	16,7 16,7	16,1 16,1	16,5 16,5	17,3 17,3	18,1 18,1	18,1 18,1
12	18,0 18,4	18,5 18,5	18,1 18,1	17,8 17,8	17,2 17,2	17,1 17,1	16,7 16,7	16,1 16,1	16,5 16,5	17,3 17,3	16,5 16,5	16,5 16,5
13	15,7 15,8	15,8 15,9	16,1 16,2	16,0 16,0	15,8 15,8	15,9 15,9	16,0 16,0	16,1 16,1	16,6 16,6	16,8 16,8	16,8 16,8	16,8 16,8
14	18,6 19,3	19,8 19,4	19,4 19,4	18,9 18,9	18,3 18,3	17,8 17,8	17,4 17,4	17,7 17,7	17,8 17,8	18,7 18,7	18,7 18,7	18,7 18,7
15	19,3 19,8	19,9 19,5	19,0 19,0	18,3 18,3	18,0 18,0	17,8 17,8	17,5 17,5	17,4 17,4	17,4 17,4	17,7 17,7	17,7 17,7	17,7 17,7
16	18,0 18,2	18,2 18,2	18,2 18,2	18,2 18,2	18,0 18,0	17,7 17,7	17,4 17,4	17,3 17,3	17,3 17,3	17,3 17,3	17,3 17,3	17,3 17,3
17	17,6 18,0	18,1 18,2	18,4 18,3	18,3 18,3	18,1 18,1	17,9 17,9	17,7 17,7	17,5 17,5	17,4 17,4	17,4 17,4	17,4 17,4	17,4 17,4
17	17,3 17,3	17,5 17,5	17,5 17,5	17,8 17,8	18,0 18,0	18,1 18,1	18,0 18,0	17,9 17,9	17,6 17,6	17,1 17,1	17,1 17,1	17,1 17,1
18	17,0 17,3	17,5 17,7	17,7 17,7	17,9 17,9	18,0 18,0	18,1 18,1	18,0 18,0	18,0 18,0	17,9 17,9	17,6 17,6	17,1 17,1	17,1 17,1
18	16,8 17,0	17,4 17,4	18,4 18,5	18,5 18,5	18,1 18,1	17,6 17,6	17,3 17,3	17,0 17,0	16,6 16,6	16,4 16,4	16,2 16,2	16,2 16,2
19	17,1 17,4	18,2 19,3	19,9 19,9	19,2 19,2	18,5 18,5	17,8 17,8	17,4 17,4	17,1 17,1	16,5 16,5	16,6 16,6	16,5 16,5	16,5 16,5
19	18,4 18,5	18,6 18,8	19,1 19,1	18,3 18,3	17,6 17,6	17,0 17,0	16,4 16,4	16,6 16,6	17,1 17,1	17,3 17,3	17,3 17,3	17,3 17,3
20	17,5 17,5	18,0 18,0	17,9 17,9	17,3 17,3	17,2 17,2	17,4 17,4	17,3 17,3	17,1 17,1	16,8 16,8	16,8 16,8	16,8 16,8	16,8 16,8
20	16,4 17,0	17,0 17,4	17,4 17,6	17,6 17,6	17,7 17,7	17,8 17,8	18,0 18,0	17,9 17,9	17,8 17,8	17,5 17,5	17,4 17,4	17,4 17,4
21	17,5 17,5	16,9 16,9	16,8 16,8	16,9 16,9	17,2 17,2	17,3 17,3	18,2 18,2	18,1 18,1	17,7 17,7	— —	— —	— —



ELANDERS BOKTRYCKERI AKTIEBOLAG  
GUTEBORG 1935





ELANDERS BOKTRYCKERI AKTIEBOLAG, GOTEBORG 1955