

86 | Mai 1961

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Tetsuo Takahei

**Untersuchungen über den wellenlosen
Bug**

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU der UNIVERSITÄT HAMBURG
Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h. G. Weinblum

Auszug
aus den
Abhandlungen der Japanischen Schiffbautechnischen Gesellschaft
Mai 1961

Seiten: 203 - 217
—

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN WELLENLOSEN BUG

von

T e t s u o T a k a h e i

Mitglied der japanischen schiffbautechnischen
Gesellschaft,

Assistant Professor an der Ibaraki Universität

(Manuskript eingegangen am 20. 12. 1960)

Übertragen aus dem Japanischen von

K.Sazanami, Berlin

S.D. Sharma, Hamburg

Technische Bearbeitung und Fertigstellung:

H. Schulze, Hamburg

A Study of the Waveless Bow (Part 2)

By Tetsuo ^{Takabe} [redacted] ber
Takabe

Summary

In the first paper on the "Waveless Bow", the author showed the theoretical possibility of realizing the idea of the "Waveless Hull Form," ^{remarkable} and attained the "Waveless Bow" with the two models. This ^{fact} [redacted] has been inferred from the results of the resistance tests and the careful analysis of the profiles of the transverse waves on the sides of the models.

The above should be most surely confirmed by measuring the wave patterns including the both waves, transverse and diverging.

In this ^{second} [redacted] paper, ^{proceeding} [redacted] in the author's way by introducing the stereophotogrammetry into the tank experiments, he has succeeded in figuring wave contours.

If the suitable bow bulb for the ^{designed} [redacted] speed is adopted, the bow waves undergo a great change from the state of Fig. 4 in which the wave influence is predominant, to the state "Waveless" of Fig. 5. The idea of the elementary waves is also very effective in interpreting these phenomena.

In der vorhergehenden Abhandlung [1] zügten wir theoretisch die Möglichkeit, durch vollkommene Welleninterferenz eine wellenlose Schiffsform zu verwirklichen. Praktisch hatten wir auch an den zwei Schiffsmodellen C 1o1 F und C 2o1 F2 einen vollkommen wellenlosen Bug erreicht. Auf diese bemerkenswerte Tatsache des vollkommen wellenlosen Zustandes konnten wir aus Beobachtungen von Wellenprofilen an den Seiten des Schiffsmodells und aus Ergebnissen von Widerstandsversuchen an dem Schiffsmodell mit dem wellenlosen Bug schließen. Der von den Bugwellen verursachte, theoretisch errechenbare Widerstand wurde dadurch zu Null gemacht. Später wurde das gesamte Wellenbild einschließlich der transversalen und divergenten Wellen mit Hilfe von Stereomeßkammern aufgenommen. Dadurch haben wir in dem gesamten Wellensystem einen durch [REDACTED] rufenen wellenlosen Zustand bestätigt. ^{Interferenz hervor-} In dieser Abhandlung wollen wir die Ergebnisse verschiedener Analysen des photogrammetrisch aufgemessenen Wellenbildes darlegen.

1. Wellenbildvermessung mittels Photogrammetrie

1.1 Die Bedeutung der Wellenbildvermessung

Der Zweck dieser Schiffsmodellversuche besteht darin, die Fahrtwellen eines wirklichen Schiffes in ihrer reinen, ungestörten Form zu rekonstruieren, um damit seinen Wellencharakter zu durchleuchten. Dagegen wurden bisher im Hinblick auf die Komplexität der Wellenerscheinungen und Schwierigkeiten der Wellenformbeschreibung ebenso [REDACTED] ch [REDACTED] e- rigkeit der Wellenmessung fast keine Schiffsmodellversuche zur direkten Beobachtung der Wellen zwecks [REDACTED] physikalischen Mechanismus gemacht. ^{wegen der technischen Schwierig-} Erforschung ihres

Der übliche Widerstandsversuch ist in dem gewöhnlichen Geschwindigkeitsbereich wenig nützlich, weil die gewünschte Meßgröße, nämlich der Wellenwiderstand neben dem Reibungswiderstand, weniger als die Hälfte des Gesamtwiderstandes ausmacht. Daher sind die in diesem Zusammenhang auftretenden schwierigen Probleme, wie z.B. der Einfluß der Grenzschichtströmung auf die Form, bis heute noch nicht völlig geklärt.

Übliche Meßgrößen sind die Kraft und das Moment.

Mit einer Verkleinerung des Modells nimmt ihre Meßgeschwindigkeit sehr rasch ab [Anmerkung des Übersetzers: Ungefähr mit der 3. bzw. 4 Potenz des Modellmaßstabes]. Da aber die Wellenhöhe proportional zur Modelllänge ist, fällt die Meßgenauigkeit von Wellenhöhen nicht so schnell ab, wenn man von großen Modellen auf kleinere übergeht [Anmerkung des Übersetzers: Mit der 1. Potenz des Modellmaßstabes].

Für die Aufmessung von Wellensystemen über einen breiten Bereich ist aus verschiedenen Gründen ein kleiner Schlepptank vorteilhafter als ein großer. Professor Inui von der Tokyo Universität hat bereits die Bedeutung der Wellenformanalyse betont und einen wertvollen Bericht über die Wellenprofil-

aufmessung nach dem Verfahren des chemischen Filmes und durch (für eine getreue Beschreibung des gesamten Wellensystems, das) fotografische Beobachtung des Heckwellensystems veröffentlicht. Wie Prof. Inui in diesem Bericht [2] schildert, ist [redacted] getreue Beschreibung des gesamten [redacted] Systems, das sich auf der Wasseroberfläche zweidimensional ausbreitet, das optische Verfahren der Stereophotogrammetrie das Beste. Diese Forschungen des Professors dienten unter anderem auch als Wegbereiter für die stereophotografischen Messungen.

Zu diesem Zweck hat er den Schlepptank mit verschiedenen zusätzlichen Einrichtungen versehen und wertvolle Erfahrungen über die Versuchstechnik von Fotoaufnahmen gesammelt.

Bei unserem Thema "Untersuchungen über den wellenlosen Bug" handelt es sich um den Welleninterferenzmechanismus vom Schiffs-

für eine getreue Beschreibung

rumpf und Wulst. Das ist auch der günstigste Forschungsgegenstand für die Anwendung der Photogrammetrie, um die physikalische Lehre des Interferenzmechanismus durch Elementarwellen, wie sie in dem vorhergehenden Bericht dargelegt wurde, experimentell zu bestätigen.

Unter Verwendung der Schlepptankeinrichtung der Tokyo Universität und Ausnutzung derer Erfahrungen für die Konstruktion verschiedener noch erforderlicher Zusatzvorrichtungen, konnte ich in Zusammenarbeit mit der zuständigen Behörde die Wellenbildaufmessung nach dem o.a. Verfahren durchführen und die gewünschten Ergebnisse erzielen.

1.2 Das Prinzip der Photogrammetrie [3]

Die Bilder, die wir in der Stereophotogrammetrie benutzen, werden Stereobilder genannt. Das Objekt wird von zwei in einem bestimmten Abstand befindlichen Orten aufgenommen. Die beiden Bilder bilden ein Bildpaar; z.B. wenn man die Figuren in Abb. 1 stereoskopisch betrachtet, so erscheinen der Kreis, das Viereck und das Dreieck in verschiedenen Tiefen, und zwar in der aufgeführten Reihenfolge. Wenn man jetzt, wie in Abb. 1(a), auf den entsprechenden linken und rechten Punkt eine Meßmarke legt und stereoskopisch betrachtet, so erscheint die Meßmarke (der schwarze Punkt) auch plastisch, und zwar mit der gleichen Parallaxe wie das Dreieck. Da die Parallaxen des Dreiecks und des schwarzen Punktes gleich groß sind, scheint die Marke auf dem Dreieck zu liegen. Aber wenn man den schwarzen Punkt auf einer oder beiden Seiten nach links oder rechts verschiebt, wie z.B. in Abb. 1(b), dann erscheint die Marke - stereoskopisch betrachtet - hinter dem Dreieck, also tiefer. Dagegen, wenn der Abstand der schwarzen Punkte kleiner ist als in Abb. 1 (a), dann liegt die Marke höher.

Wenn man auf das Stereobild des Wellensystems eine Meßmarke legt, den Abstand [deren Komponentpunkte] konstant hält und mit ihr die Wasseroberfläche abtastet und verfolgt, so bekommt man Höhen- und Niveaulinien des Wellenbildes. Kennt man genau die Differenzen der Punktabstände, kann man durch die folgenden Beziehungen die Wellenhöhe errechnen. Wenn man aus zwei Punkten O_1 und O_2 mit nach unten gerichteter Aufnahmeachse fotografiert, wie in Abb. 2 dargestellt, so erhält man senkrechte Luftbilder. Der Abstand zwischen den Punkten O_1 und O_2 in Abb. 2 heißt Aufnahmebasis. Ein Wellenbergpunkt A wird auf dem linken und rechten Bild als a_1 und a_2 abgebildet, ein Paßpunkt B entsprechend als b_1 und b_2 . Wenn man Linien $O_2 a_1'$, $O_2 b_1'$ parallel zu den Strecken $O_1 a_1$, $O_1 b_1$ zieht, dann erhält man die Parallaxen $p_a = a_1' a_2$; $p_b = b_1' b_2$.

Diese sind die Parallaxen der Punkte A und B.

Bezeichnet man die Kammerkonstante mit f und die Entfernungen der Punkte A und B von der Kammer mit h_A ; h_B , so ergeben sich die Formeln: $p_{A/b} = f/h_A$; $p_{B/b} = f/h_B$ im allgemeinen:

$$h = \frac{b \cdot f}{p}$$

Das ist die Grundformel der Höhenmessung durch Parallaxen.

Bezeichnet man den Höhenunterschied zweier Punkte A und B mit dh und ist dieser klein gegen h , dann erhält man durch [redacted] ← Differentiation der obigen Gleichung die Beziehungen (1) oder (1'). Nach diesen Formeln kann man aus der Parallaxendifferenz dp die Höhendifferenz berechnen.

$$dh = - \frac{b \cdot f}{p^2} dp = - \frac{h^2}{b \cdot f} dp \quad (1)$$

Schreibt man $\frac{h}{f} = m_b$ und $\frac{b}{h} = g$, geht Formel (1) über in

$$dh = - \frac{m_b}{g} dp \quad (1')$$

In dieser Formel heißt m_b die Maßstabszahl und \mathcal{V} das Basisverhältnis. Dieses wird durch den Aufnahmekammertyp und die Bildüberdeckung festgelegt.

In der Praxis treten Fehler infolge der Kammerneigung ebenso wie Orientierungsfehler (Orientieren heißt, zwei Bilder entsprechend den Sichtlinien beim wirklichen Sehen eines Objekts anordnen) und Fehler durch Einschrumpfung der Bildabzüge auf. Eine horizontale Fläche erscheint daher gewölbt auf dem Bild.

[Zur Korrektur] werden auf dem Bild geeignete Paßpunkte gewählt. Die bereits erwähnten verschiedenen Fehler werden im Kartiergerät "Stereotop" nach einem mechanischen Verfahren selbsttätig ausgeglichen.

Das Stereotop ist ein Gerät für Kartierung im Kleinmaßstab, und seine Genauigkeit beträgt ungefähr $1/10000$ der Flughöhe. Es ist ein Auswertgerät 3. Ordnung. Es gibt noch andere Geräte, die sogenannten Auswertgeräte 1. Ordnung, mit denen man senkrechte Luftbilder, Schrägaufnahmen und terrestrische Aufnahmen auswerten kann, Universalauswertgeräte, womit man Aerotriangulation und Profilmessung durchführen kann, und ferner Kartiergeräte 2. Ordnung, deren Hauptzweck die Kartierung von Senkrechtbildern mit hoher Genauigkeit ist (die Genauigkeit der Auswertgeräte 1. und 2. Ordnung beträgt etwa $1/10\ 000$ der Aufnahmehöhe).

Die Auswertungsarbeit bei diesen Versuchen wurde in Zusammenarbeit mit dem "Geographical Survey Institute" [Landvermessungsstelle] unter dem "Ministry of Construction" [Bauministerium] mittels Stereotopen - und teilweise auch mit dem Stereokartiergerät A 8, einem Gerät 2. Ordnung - durchgeführt.

Für die Auswertung der Bilder mit diesem Gerät gelten folgende Bedingungen. Insbesondere muß das Kammerobjektiv streng verzeichnungsfrei [?] sein.

- (1) Die Überdeckung der beiden Bilder muß mindestens über 50 % betragen, normalerweise aber ca. 60 %.

- (2) An den vier Ecken des [Bild] Modells müssen Paßpunkte deutlich abgebildet sein und ferner muß ihre relative Lage genau bekannt sein.
- (3) Aufnahmekammern müssen genau einjustiert sein. [bekannte innere Orientierung] .
- (4) Die Verzeichnungsfehler des Objektivs müssen klein * sein (normalerweise unter 0,05 mm) [Anmerkung des Übersetzers: Hier liegt wahrscheinlich ein Druckfehler vor. Es müßte eigentlich 0,005 mm heißen] , und das Auflösungsvermögen muß über 50 Linien pro mm** (0,02 mm Linienabstand) betragen.

*Für das verwendete Objektiv haben wir mit Hilfe einer Standardgitteraufnahme festgestellt, daß die [redacted] fehler genügend klein waren. (Verzeichnungs-

**

Bei dem hier verwendeten Objektiv beträgt es etwa 40.

- (5) Die Belichtungszeit muß kurz sein, so daß die Bildverschiebung kleiner ist als das Auflösungsvermögen.
- (6) Korrespondierende Punkte auf den zwei Bildern müssen leicht zu identifizieren sein, um ein deutlich plastisches Bildmodell zu erzeugen.

anderes →

[redacted] (6): Die gleichen Bedingungen gelten für die topografische Kartierung von Luftbildern. Für die Wellenaufnahmen aber kann es zu einem schwierigen technischen Problem werden. Während einerseits die kleinen Verformungen der Wasseroberfläche kontrastreich abgebildet werden müssen, soll andererseits gleichzeitig die Gesamttonung fotografisch weich gehalten werden. Wenn dies nicht der Fall ist, ist die genaue Identifizierung korrespondierender Bildpunkte äußerst schwer.

↑
nur noch ein „S“ vorstrichen

2. Aufnahme und Auswertung

2.1 Die Planung der Aufnahmen und Aufnahmeeinrichtungen

Die Merkmale der Aufnahmevorbereitung und der verschiedenen Einrichtungen sind nachfolgend aufgeführt. Abb. 3 gibt die gesamte Versuchsanordnung wieder.

- (1) Man kann das Schiffsmodell nicht unter dem Schleppwagen wie bei gewöhnlichen Modellversuchen führen. Die Widerstandsversuche waren nach dem Verfahren der Parallelführung, die ein Eintauchen, aber kein Vertrimmen zuläßt, durchgeführt worden. Das gleiche Verfahren wurde bei den Wellenaufnahmen angewandt. Daher wurde das Schiffsmodell hinter dem Schleppwagen geführt, um ihn somit aus dem Blickfeld auszuschalten.
- (2) Die Aufnahmen wurden nach dem Aufnahmeverfahren für senkrechte Luftbilder gemacht. Aus Gründen, die wir später erläutern werden, wurde der Bildbereich in zwei Teilen aufgenommen. Bei der Aufnahme des hinteren Halbtails wurde das Schiffsmodell weiter nach vorn verlegt. Als Aufnahmegeräte wurden zwei Photokammern verwendet. Die beiden Kamern wurden in gleicher Höhe an einem Balken befestigt, der aus dem Wagenaufbau hinausragte. Die Aufnahmen wurden synchron ausgelöst. Die Kammerhöhe betrug 3400 mm über dem Wasserspiegel und ist somit die höchste in unserem Schlepptank realisierbare Aufnahmehöhe. Wenn die Verbindungslinie der beiden Objektivzentren genau über der Schiffsmittellinie gelegen hätte, wäre der Bereich nahe den Schiffseiten verdeckt worden. Deshalb legten wir die Verbindungslinie der ^{Objektivzentren} [redacted] ungefähr 200 mm aus Mitte Schiff auf die rechte [Steuerbord-] Seite.

Relativ zu einem schiffsfesten Bezugssystem ist das Wellenbild im Durchschnitt über eine lange Beobachtungsdauer stationär. Es gibt aber momentane Abweichungen. Deshalb kann man nicht

das für Luftbilder übliche Reihenaufnahmeverfahren anwenden, bei dem mit einer einzigen Kammer in passenden Zeitabständen kontinuierliche Bilder aufgenommen werden, sondern man muß zwei Kammern mit gleichen optischen Charakteristiken verwenden, die simultan aufnehmen. Besonders aus diesem Grunde verwendeten wir eine "Strobo"-Beleuchtungsanlage. Die Kammerkonstante ist normalerweise auf unendliche Entfernung eingestellt. Bei Wellenaufnahmen im Schlepptank ist die Aufnahmehöhe beschränkt, daher muß man die Kammerkonstante auf endliche Entfernung umstellen. Deshalb ist es nicht möglich, die photogrammetrische Meßkammer [für unsere Zwecke] ohne weiteres einzusetzen. Glücklicherweise durften wir die für Meeres- und Seegangsaufnahmen bestimmten Meßkammern von dem Forschungsschiff "NISHO-MARU" benutzen.

Auf "NISHO-MARU" werden diese Kammern für Seegangsaufnahmen verwendet, wobei schräg von oben aufgenommen wird.

Das ist ähnlich wie in der terrestrischen Photogrammetrie.

Natürlich kann man nach diesem Verfahren auch Wellen in einem Schlepptank aufnehmen. Zur Auswertung braucht man dann aber ein Spezialauswertgerät. Außerdem gibt es im

Schlepptank →

verschiedene Einschränkungen auf die Lage der Kammern. Deshalb haben wir, wie bereits erwähnt, senkrechte Aufnahmen gemacht. Es war gewünscht, den für die Auswertung notwendigen Wellenbereich vom Bug bis zum Heck aufzunehmen. Wegen der Einschränkungen durch die Deckenhöhe im Schlepptank und den Schmalwinkel der verwendeten Meßkammern konnten wir nicht umhin, das Wellensystem in zwei Teilen aufzunehmen. Mit einer Weitwinkelkammer haben wir für Vergleichszwecke noch zusätzlich das gesamte Wellensystem auf einem Bild aufgenommen. Das zeigt das Photo in der Abb. 7 des letzten Berichts.

Die Aufnahmedaten gemäß Abb. 2 sind wie folgt:

Kammerkonstante $f = 193^*$, Bildformat 160 x 110, Abstand Objektivzentrum vom Wasserspiegel $3381 \div 3390$, Basislänge $b = 100$
(alle Maße in mm)
(alle Maße in [mm]).

* Fußnote zu (2) siehe nächste Seite

Bitte diese beiden rot geschriebenen
Zeilen im gleichen Wortlaut mit
Maschine überschreiben

In dieser Anordnung hatte die Bildüberdeckung den passenden Wert von 60 %.

Maßstabszahl $m_B \approx 18$ und $\nu \approx 0,325$. Hiernach ergibt Formel (1)

$$dh \approx - 55,5 dp.$$

Somit entspricht 1 mm Parallaxendifferenz auf dem Bild einem Höhenunterschied von 56 mm. Die Ablesegenauigkeit des Stereotops ermöglicht eine punktweise Messung der Wellenhöhen mit einer Genauigkeit von ± 1 mm. Die mittlere Genauigkeit der Höhenlinien ist etwas geringer, und zwar ungefähr gleich \pm (Niveauunterschied zwischen aufeinanderfolgenden Höhenlinien).

*Die Schärfeneinstellung der beiden Objektive entspricht einer Entfernung von 3 400 mm zum Objekt. Die Vergrößerung durch die beiden Objektive muß genau übereinstimmen. Bei den verwendeten Objektiven konnte das innerhalb von 0,1 % einjustiert werden. Die angegebene Kammerkonstante gilt für diesen Fall.

- (3) Die Paßpunkte an den vier Ecken des Bildmodells haben die Gestalt eines Meßhakens. Die Hakenspitzen liegen genau in einer Niveaufläche ungefähr 40 mm über dem Wasserspiegel. (Es wurde genau erreicht durch eine Hebung des Wasserspiegels zum Vergleich). Außerdem haben wir den Abstand zwischen den Hakenspitzen und der ruhenden Wasseroberfläche vor und nach den Versuchen genau aufgemessen und dadurch die Bezugsebene \rightarrow [gestörte Wasseroberfläche] bestimmt. Wir haben auch die relativen Lagen der Paßpunkte gemessen, um daraus den Bildmaßstab zu ermitteln.
- (4) Die freie Wasseroberfläche des Schlepptanks wurde mit Aluminium-Pulver mit einer Korngröße von 150 - 170 bestreut.

Bitte über-
schreiben!

Für eine einmalige Bestreuung der 85 mm langen und 3,5 m breiten Oberfläche wurde eine Menge von 100 g benötigt.

Die wichtigste Voraussetzung für deutliche Wellenaufnahmen ist eine gute Beleuchtungstechnik. Es gibt zwei Verfahren zur Beleuchtung einer Wasseroberfläche. Das eine besteht darin, daß man das Licht von einer hellen Decke auf die Wasseroberfläche reflektieren läßt, und das andere, daß man die Wasseroberfläche mit einer undurchsichtigen Schicht oder Membran bedeckt.

Das erste Verfahren wird z.B. im Freien angewandt, wo der klare Himmel selbst [das Licht] ^{Von dem Meer reflektiert wird} reflektiert ^{und} ~~reflektiert~~ und ideale Aufnahmebedingungen ^{berrschen.} ~~reflektiert~~ bei unseren Versuchen in einem Schlepptank ist es sehr schwierig, den gleichen Zustand zu verwirklichen. Wir haben dies auch schon im Schlepptank der Tokyo Universität versucht, konnten aber keine befriedigenden Ergebnisse erreichen. Bei dem zweiten Verfahren muß der Stoff, der dem Wasser beigemischt oder auf die Oberfläche gestreut wird, folgenden Voraussetzungen genügen:

- i) Er soll die Zähigkeit des Wassers nicht verändern,
- ii) Er soll die Oberflächenspannung des Wassers nicht beeinflussen,
- iii) beim Vorhandensein von Turbulenz muß der ursprüngliche Zustand homogener Bestreuung nach ~~dem Verschwinden~~ der turbulenten Störung wiederhergestellt ^{sein.}

Der [zu streuende] Stoff muß diese Eigenschaften aufweisen. Das oben genannte Aluminium-Pulver schwimmt auf der Oberfläche und ist fast unsichtbar. Der Einfluß auf die Oberflächenspannung ist sehr gering.** Er genügt somit ungefähr den aufgeführten Bedingungen.

** Das verwendete Aluminium-Pulver von Korngröße [Siebmaß] 150-170 wurde von der Firma "Nakajima Metallpulver Industrie KK" bezogen. Eine Messung der Oberflächenspannung mit

dem einfachen "Jolly"-Federmeßgerät ergab für das mit Al-
pPulver bestreute Wasser auf einer Temperatur von 12° C einen
Wert für die Oberflächenspannung gleich 97-99% desjenigen
für reines Wasser.

Auch die dritte Bedingung ist unmittelbar nach der Bestreu-
ung kein Problem. Aber drei oder vier Tage nach der Be-
streuung ist die Wasseroberfläche von Staub verschmutzt.
Wenn nun das Schiffsmodell durch das Wasser fährt, so er-
scheint im Nachlauf hinter dem Modell die bloße Wasserober-
fläche, und die Pulverschicht schließt sich nicht so leicht
wieder zusammen. Dann haben wir die Wasseroberfläche berei-
nigt und neu bestreut. Das Aluminium-Pulver auf
der Wasseroberfläche erzeugt im Bild eine feine Tönung ent-
sprechend der Veränderung der Oberflächenneigung [Wellen-
neigung]. Bei passender Beleuchtung kann man sehr deut-
liche Bilder bekommen.

- (5) Um die Bildtönung richtig zu regulieren, wurde eine Be-
leuchtung durch mittelbares Diffuslicht gewählt.
Zu diesem Zweck wurden über dem Schiffsmodell in der Höhe
der Meßkammern 3,8 m lange und 3,6 m breite, mit Silberfolie
beklebte Schirmplatten am Schleppwagen provisorisch ange-
bracht. Auf diese Reflektoren wurden vier Stroboblitze ge-
richtet. Nach großem Müheaufwand gelang es uns, auf diese
Weise die gesamte Wasseroberfläche mit wenigen Blitzen doch
gleichmässig und wirksam mit Diffuslicht zu beleuchten.
Für diese Aufnahmen hatten wir sämtliche Fenster an der Nord-
und Südseite der Schlepptankhalle über eine Länge von über
100 m mit schwarzen Vorhängen abgedeckt und damit das Ein-
dringen von unnötigem unmittelbarem Sonnenlicht verhindert.
Diese Verdunkelungseinrichtung war auch schon von Professor
Inui bei seinen Versuchen eingeführt worden.
Die Lichtleistung der verwendeten "Stroboblitze" betrug ins-
gesamt 400 Ws. Objektivblende war f 16.
Es wurden "panchromatische" Photoplatten mit einer Empfind-
lichkeit von ASA 100 benutzt. Die Entwicklung erfolgte mit

"Promichlor", einem Ultrafeinkorn-Weichentwickler mit gesteigerter Empfindlichkeit.

Wir erhielten Bilder, die durchaus den an die für photogrammetrische Zwecke bestimmten Aufnahmen gestellten Ansprüchen genügen.

Die Wasseroberfläche mit Aluminium-Pulver zu bestreuen, erwies sich als günstig auch im Hinblick auf die Objekthelligkeit. Die beiden "Stroboblitze" mit einer Leuchtzeit von ca. $1/2000$ sek. wurden völlig synchron ausgelöst und damit eine Verunschärfung des Bildes infolge der Objektverschiebung während der Aufnahme völlig vermieden. Die "Stroboblitze" waren sehr günstig, da man mit Ihnen ohne elektrische Strombelastung [?] des Wagens ausreichende Beleuchtung erzielen konnte.

2.2 Wellenbildkartierung

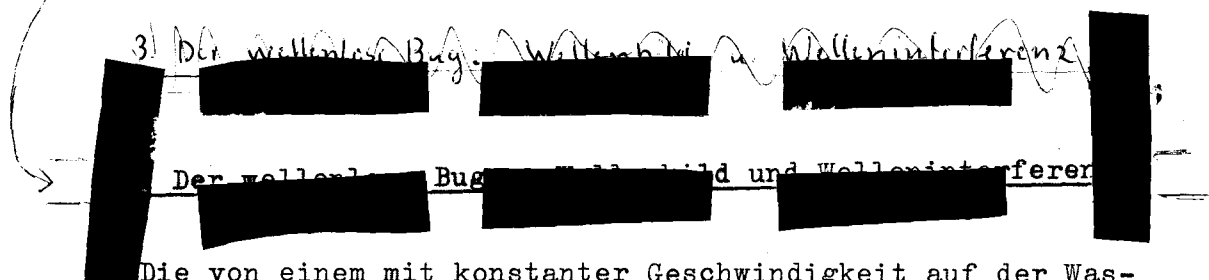
Die Aufnahmen wurden zwischen dem 22. Juni 1960 und dem 28. Juni 1960 gemacht, und zwar mit dem [einfachen] Schiffsmodell C 2o1 und den Bug- und Heckwulstmodellen C 2o1 F2, C 2o1 F, C 2o1 F 2 x A 4, insgesamt also mit vier Modellen [4]. Bestimmte Fahrtgeschwindigkeiten, wie sie in Tabelle 1 angeführt sind, wurden vorgewählt. Nur solche Fahrten wurden berücksichtigt, bei denen die Abweichung der wirklichen von der vorgewählten Geschwindigkeit innerhalb von $\pm 0,5\%$ lag.

Die Wellenbildkarte wurde mit einem Stereotop im Maßstab 1:1o aufgezeichnet. [Höhen] -abstand der Haupthöhenlinien beträgt 5 mm. Zwischenhöhenlinien in einem Abstand von 2,5 mm sind [gegebenenfalls] in der Wellenbildkarte mit lang gestrichelten Linien wiedergegeben. Möglichst viele einzelne Höhenpunkte, insbesondere an den Wendepunkten [Neigungsunstätigkeitsstellen ?], wurden gemessen.

Um ein Bildmodell (d.h. den Bereich $1/2$ []) auszuwerten, braucht man zwei Tage [?]. Zur Zeit (Ende Dezember 196o) sind bereits 5 Schiffsmodelle (d.h. 1o Bildmodelle) ausgewertet worden.

In den Abb. 4 bis 7 sind die gemessenen Wellenbilder von den Schiffsmoellen C 201, C 201 F 2 bei $F = 0,267$ und $F = 0,354$ dargestellt. Die kurz gestrichelten Linienteile auf den Karten deuten die Stellen mit etwas geringerer Maßgenauigkeit an. Tabelle 2 gibt den Fahrtzustand an.

3. Der wellenlose Bug: Wellenbild und Welleninterferenz



Die von einem mit konstanter Geschwindigkeit auf der Wasseroberfläche föhrenden Störungspunkt [Druckpunkt] erzeugten Wellen werden Kelvin-Wellen genannt. Die Wellenkämme bilden immer ein ähnliches Muster unabhängig von der Geschwindigkeit. Dieses Wellenbild ist von Hogner ausführlich untersucht worden. [5] Das mitlaufende Wellensystem, das von einem zweidimensional ausgedehnten Schiffskörper erzeugt wird, kann verschiedene Gestalten annehmen, je nach der Veränderung der Amplitudenverteilung auf die Wellenkämme [Ausbreitungsrichtung?]

Der Anteil der freien Wellen an dem Schiffswellensystem ist hinter dem Schiff annähernd durch die folgende Formel gegeben:

$$\zeta(x,y) \sim \int_{-\pi/2}^{\pi/2} S(\theta) \cdot \sin(K_0 p \sec^2 \theta) d\theta + \int_{-\pi/2}^{\pi/2} C(\theta) \cdot \cos(K_0 p \sec^2 \theta) d\theta \quad (2)$$

Bitte mit „C“ überschreiben!

worin

$$\left. \begin{aligned} K_0 &= g/v^2; \\ p &= (x-x_0) \cos \theta + y \cdot \sin \theta \end{aligned} \right\} (3)$$

Insbesondere, wenn man ein bestimmtes θ betrachtet, kann man die Formel (2) umschreiben als

$$\zeta(x,y) \sim \int_{-\pi/2}^{\pi/2} A(\theta) \cdot \sin\{K_0 p \sec^2 \theta + \gamma(\theta)\} d\theta \quad (4)$$

worin bedeuten

$$\left. \begin{aligned} A^2(\theta) &= S^2(\theta) + \zeta^2(\theta) \\ \tan \gamma(\theta) &= \zeta(\theta)/S(\theta) \end{aligned} \right\} (5)$$

Das $A(\theta)$ ist die Amplitudenfunktion der Elementarwellen.

Wenn man jetzt in (2) einsetzt:

$$x - x_0 = R \cdot \cos \Theta; \quad y = R \cdot \sin \Theta \quad (6)$$

ergibt sich

$$K_0 \cdot p \cdot \sec^2 \theta = K_0 \cdot R \cdot \sec^2 \theta \cdot \cos(\Theta - \theta) \quad (7)$$

Wenn $K_0 \cdot R$ in (7) einen bestimmten Wert überschreitet ($K_0 \cdot R \geq 6$), läßt sich das Integral in (2) durch eine asymptotische Entwicklung annähern, ^[6] d.h.

$$\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} S(\theta) \cdot \sin [K_0 R \cdot \sec^2 \theta \cdot \cos(\Theta - \theta)] d\theta \sim \left(\frac{2\pi}{K_0 R}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot K_1 \cdot S(\theta_1) \cdot \sin [K_0 R \cdot F_1 + \frac{\pi}{4}] + \left(\frac{2\pi}{K_0 R}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot K_2 \cdot S(\theta_2) \cdot \sin [K_0 R \cdot F_2 - \frac{\pi}{4}]; \quad (8)$$

$$\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \zeta(\theta) \cdot \cos [K_0 R \cdot \sec^2 \theta \cdot \cos(\Theta - \theta)] d\theta \sim \left(\frac{2\pi}{K_0 R}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot K_1 \cdot \zeta(\theta_1) \cdot \sin [K_0 R \cdot F_1 - \frac{\pi}{4}] + \left(\frac{2\pi}{K_0 R}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot K_2 \cdot \zeta(\theta_2) \cdot \sin [K_0 R \cdot F_2 + \frac{\pi}{4}]; \quad (9)$$

Daher läßt sich die Formel (2) ganz allgemein in der angenäherten Entwicklung durch folgende Beziehungen umschreiben:

$$\left. \begin{aligned} \zeta(x, y) &\equiv \zeta(R, \Theta) = \zeta_1(R, \Theta) + \zeta_2(R, \Theta) \\ \zeta_1(R, \Theta) &\sim \left(\frac{2\pi}{K_0 R}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot K_1 \cdot A(\theta_1) \cdot \sin [F_1 \cdot K_0 R + \gamma(\theta_1) + \frac{\pi}{4}]; \\ \zeta_2(R, \Theta) &\sim \left(\frac{2\pi}{K_0 R}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot K_2 \cdot A(\theta_2) \cdot \sin [F_2 \cdot K_0 R + \gamma(\theta_2) - \frac{\pi}{4}]; \end{aligned} \right\} (10)$$

In den Formeln (8), (9) und (10) bedeuten die Indizes 1 und 2 die transversalen bzw. divergenten Wellen.

$\theta_1, \theta_2; F_1, F_2; K_1, K_2$ sind Funktionen von Θ allein.

Insbesondere bedeuten θ_1 und θ_2 physikalisch die Ausbreitungswinkel (bezogen auf die x -Achse) derjenigen Komponenten der

Elementarwellen, die zu der Verformung der Wasseroberfläche [im Schnitt $\Theta = \text{const.}$]

hauptsächlich beitragen. Die Amplituden der Wellenhöhe von ξ_1, ξ_2

sind proportional zu den Werten der Funktion $A(\theta)$ an den

Stellen $\theta = \theta_1, \theta_2$. Die Beziehung zwischen θ_1, θ_2

und Θ läßt sich aus der Bedingung ableiten, daß jede Elementarwellengruppe in diesem Punkte die gleiche Phase haben muß,

d.h., die rechte Seite von (7) hat in der Nähe von θ_1 und θ_2

den stationären Wert:

$$\left. \begin{array}{l} \tan \theta_1 \\ \tan \theta_2 \end{array} \right\} = -\frac{\cot \Theta}{4} [1 \mp (1 - 8 \tan^2 \Theta)^{\frac{1}{2}}] \quad (11)$$

Ferner, wenn der Winkel Θ den kritischen Wert ($-19^\circ 28'$) annimmt, hat die Gleichung (11) zwei gleiche Wurzeln.

$F''(\theta)$ wird dann Null und deshalb muß man weitere Terme höherer Ordnung in der asymptotischen Entwicklung berücksichtigen.

Wenn Θ gerade gleich dem kritischen Winkel ist, kann man die Formel (11) wie folgt zusammensetzen:

$$\zeta(\Theta = 19^\circ 28') \sim \frac{F_1^{1/3}}{\sqrt{3}} \left(\frac{2}{K_0 R} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot H_0 \cdot A(\theta_0) \cdot \sin \alpha [F_0 K_0 R + \gamma(\theta_0)] \quad (12)$$

worin θ_0 gleich dem θ -Wert ist, der die gemeinsame Wurzel der Gleichung (11) darstellt, nämlich $\cos \theta_0 = \sqrt{\frac{2}{3}}$,

$\theta_0 = 35^\circ 16'$; F_0 und H_0 werden dann 0,866 bzw.

1,347. Außerhalb des kritischen Winkels sind noch bis zu $\Theta \approx 21^\circ$ [$\approx 21^\circ$] Wellen vorhanden. Diese werden durch die obige Formel erfaßt.

Wenn man die Gleichung (11) löst und die Beziehung zwischen

θ_1, θ_2 und Θ aufzeichnet, so erhält man Abb. 8.

Den positiven Θ -Werten entsprechen negative θ_1 u. θ_2 .
 Bei dem Schiffmodell C 201 F 2 haben die ^(theoretischen) Amplituden-
 funktionen $A_F(\theta)$, $B_F(\theta)$ des Bug- bzw. Wulst-
 wellensystems keine Komponente $C(\theta)$, sondern nur $S(\theta)$
 in der Formel (5). Ihre Abhängigkeit von θ zeigt die Abb. 9.
 Nach Formel (3) verändert sich die Lage des Wellenentstehungs-
 punktes mit der Geschwindigkeit weder für den Schiffsrumpf
 noch für den Wulst, sondern bleibt immer im Vordersteven.
 Die Interferenzwirkung des Wulstes in Bezug auf die Wellen-
 höhe in den verschiedenen Radialschnittebenen Θ -konst.
 ist leicht ersichtlich aus der Größe $\{A_F(\theta) - B_F(\theta)\}$
 für die dem betreffenden Θ zugehörigen Komponenten θ_1, θ_2
 der Elementarwellen. Für das Modell C 201 F 2 besteht bei der
 geplanten Geschwindigkeit die Beziehung $A_F(\theta) \approx B_F(\theta)$
 in dem Bereich $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$. Deshalb sind natürlich
 die transversalen Wellen, aber darüber hinaus auch die diver-
 genten Wellen im Bereich $\Theta = 19^\circ 28' \pm 15'$ fast völlig verschwun-
 den. Für größere θ -Werte nimmt $A_F(\theta)$ einen endlichen
 Wert in $\theta = 90^\circ$ an. Die Wellenlänge $\lambda(\theta)$ nach der Formel

$$\lambda(\theta) = \lambda_0 \cdot \cos^2 \theta ; \quad \lambda_0 = \frac{2\pi}{k_0} = \frac{2\pi V^2}{g}$$

geht gegen Null, wenn θ gegen 90° geht. Daher wird in der Nähe
 von $\theta = 90^\circ$ die Wellenneigung sehr steil und [damit] die lineari-
 sierte Theorie ungültig. $A(\theta)$ hat in Wirklichkeit keinen Ein-
 fluß auf die Wellenhöhe in diesem Bereich.

Die Steilheit der Wellen für verschiedene θ wird durch
 $\frac{A_F(\theta)}{\lambda(\theta)}$ und $\frac{B_F(\theta)}{\lambda(\theta)}$ gegeben, wie sie in Abb. 10 aufge-
 tragen ist. Setzt man die Gültigkeitsgrenze der linearisier-
 ten Theorie auf $\frac{A_F(\theta)}{\lambda(\theta)} \approx \frac{1}{7}$ (= 0,14) an, so ergibt
 sich, daß die theoretische Amplitudenfunktion der Elementar-
 wellen höchstens in einem Bereich $\theta \leq 70^\circ$ physikalische
 Bedeutung hat. Wenn man dies berücksichtigt und die Intefe-
 renzwirkung für $\theta < 70^\circ$ betrachtet, dann sind auch

bitte mit „i“
 überschreiben

fast alle divergenten Wellen verschwunden mit der Ausnahme von $15^\circ > \theta > 10^\circ$.

Daraus kann man schließen, daß durch den Wulst wirksame Welleninterferenz erreicht wurde, und die Spitze des Bugwellensystems in der Nähe von $\theta = 15^\circ \div 18^\circ$ ist verschwunden. Nur in der Nähe von $\theta \approx 12^\circ$ erzeugen einige noch nicht aufgehobene Divergentwellen einen Wellenkamm.

4. Analyse der wirklich gemessenen Wellenbilder

An dem Schiffsmodell C 201 F 2, das sich aus dem Rumpf C 201 und Bugwulst F 2 zusammensetzt, wurde bei der geplanten Geschwindigkeit $K_0 L = 14$ ($F=0,267$) der wellenlose Bug verwirklicht. Unterlagen über die Form des Modells sind in Tabelle 1 des vorhergehenden Berichtes angegeben. Aus den in jedem Bericht angeführten Gründen wird der Wulst hydrodynamisch als ein diskreter Dipol (Point Doublet) behandelt. Die Tauchtiefe des Wulstmittelpunktes beträgt $f/L=0,054$ und die Wulststärke $a_0/L=0,033$, worin a_0 den Halbmesser der äquivalenten Kugel (mit dem Volumen des Wulstes ausschließlich der Verkleidung "Fairing") bedeuten soll. Wenn man die gemessenen Wellenbilder in den Abb. 4 und 5 - beide für die geplante Geschwindigkeit - vergleicht, bemerkt man auf einen Blick die Verwirklichung des wellenlosen Zustandes infolge der Interferenz der Wulstwellen in dem gesamten Wellensystem einschließlich der transversalen und divergenten Wellen.

Wir wollen nun die beiden Wellensysteme nach den Gesichtspunkten der theoretischen Untersuchung unter Abschnitt 3 noch eingehender vergleichen. Zuerst sind in Abb. 4 in dem ganzen Wellenbereich Wellenkämme (und -täler) nach H o g n e r aufgetragen worden. Einen Vergleich der gemessenen Wellenkämme mit den Hognerschen zeigt Abb. 11.

In dieser Abbildung ist der Ausgangspunkt des Hognerschen Wellensystems nicht auf das vordere Lot (FP), sondern auf einen Punkt C (4% L vor FP) gelegt worden, um dadurch die [theoretischen] transversalen Wellen mit den gemessenen in Einklang zu bringen. Wir haben die zugehörigen theoretischen und wirklich gemessenen Wellenspitzen (cusps) mit Pfeilen angezeigt. Im allgemeinen erstreckt sich das gemessene Wellensystem über einen breiteren Bereich (Abstand zwischen den Wellenspitzen).

Nicht nur die Querausdehnung, sondern auch der entsprechende Winkel θ ist größer, wie man aus der Lage der Wellenspitzen (cusps) ersieht. Dies gilt auch für andere Geschwindigkeiten. Abb. 12 zeigt die der Abb. 6 entnommenen Wellenkämme (Wave Ridge) im Vergleich zu den Hognerschen. Aber in diesem Fall liegt der Ausgangspunkt C 6 % L vor dem vorderen Lot (FP). Diese Erscheinungen beschränken sich nicht nur auf dieses Schiffsmodell. Bei Beobachtungen an [anderen] Schiffsmodellen und naturgroßen Schiffen stellt man die gleichen Tatsachen fest. Verantwortlich für die Phasen-^{nähe}~~verschiebung~~ des theoretischen Wellensystems ist vorwiegend die Tatsache, daß man bei der Aufstellung der Randbedingung an der Schiffsoberfläche für die theoretische Behandlung des Wellensystems die Orbitalbewegung in den Wellen vernachlässigt [Froude-Krylowische Hypothese]. Als Ursache für die Wellenverbreitung [Vergrößerung des Öffnungswinkels] ist die endliche Ausdehnung des Schiffskörpers im Gegensatz zu dem Fall des fahrenden Störungspunktes [Druckpunktes] und der Einfluß der Selbstabschirmung (Sheltering Effect) anzusehen, der die Fortschreitung der eigenen Wellen verhindert. Die Abweichung des Öffnungswinkels des [gemessenen] Wellensystems von dem theoretischen Wert wird vermutlich asymptotisch geringer [mit wachsender Entfernung] hinter dem Schiff.

Wenn man unter Berücksichtigung der oben genannten Erscheinungen die wellenaufhebende Wirkung des Wulstes im wirklich gemessenen Wellensystem untersuchen will, so kann man [zunächst] annehmen, daß die Welleninterferenz von einem Hognerschen Wellensystem mit dem entsprechenden Ausgangspunkt hervorgerufen wird.

Die oben erwähnten Nebeneinflüsse können dann als eine Phasen^{vorverle-}~~beschleu-~~
~~nigung~~ und Öffnungswinkelverbreiterung des Hognerschen Wellen-
bildes betrachtet werden. Man nimmt an, daß ebenso die Spitze
(cusp) des Hognerschen Wellenbildes als auch die Spitze des wirk-
lichen Wellenbildes allein durch die Interferenz der Elementar-
wellen erzeugt wird. Wenn man nach dieser Überlegung das Wellen-
kamm-Muster des Bugwellensystems von dem Schiffsrumpf nach Abb. 4
auf das Wellensystem des wellenlosen Bugs in Abb. 5 überträgt
[und vergleicht] , so bemerkt man [an diesen Stellen] fast völlige
Wellenlosigkeit. Die Lage des wirklichen Wellensystems stimmt mit
der Voraussage von Abschnitt 3 überein.

Demgemäß sind in der Nähe von $\theta \approx 12^\circ$ innerhalb des Hognerschen
Wellenbildes [des Wulstes?] noch unaufgehobene divergente Wellen
in gleicher Phase zu den Schiffsrumpfwellen vorhanden.

Wir wollen nunmehr die Veränderung der Wellenhöhe in einer
senkrechten Schnittebene betrachten. Abb. 13 zeigt eine Gegenüber-
stellung der Wellenprofile an den Schiffseiten für die Fälle
mit und ohne Wulst. Die transversalen Wellen sind [in dem Fall
mit Wulst] völlig verschwunden. Die theoretischen Werte des in
Abb. 13 wiedergegebenen Wellensystems des Schiffsrumpfes ein-
schließlich der lokalen Wellen wurden nach der teilweise fer-
tiggestellten "Tafel für die Wellenformberechnung" aus dem letzten
Bericht errechnet.

Die gemessenen Werte weisen gegenüber den theoretischen eine Pha-
sen^{vorverle-}~~beschleu-~~nigung um ca. 4 % L auf. Abgesehen davon stimmen die
beiden gut überein. In derselben Abbildung ist auch die Differenz
zwischen den Wellenhöhen mit und ohne Wulst aufgezeichnet; diese
stimmt mit der theoretischen Form* des Wulstwellensystems gut über-
ein.

*In den Abb. 13 und 14 haben wir den Ausgangspunkt des theo-
retischen Wulstwellensystems auf 4 % L vor FP gelegt. Denn wir
glauben, daß das wirksame Zentrum des Wulstes dort liegt.

Das Wellenprofil in einer Radialschnittebene haben wir in folgender Weise ermittelt:

Aus der Anordnung der Wellenkämme des gemessenen Gesamwellensystems und ihrer Gestalt in den Wellenprofilen an den Schiffsseiten bestimmen wir die Richtung der Schnittebenen und deren Anfangspunkte, die nicht auf dem vorderen Lot, sondern in einem Punkt C 4% L davor liegen.

Abb. 14 zeigt das Wellenprofil in einer [ausgewählten, vertikalen] Radialschnittebene [mit dem Ausgangspunkt C].

Die Richtung dieser Ebene wurde so gewählt, daß sie die "Wellenspitze" ["Cusp"-Schnittpunkt der transversalen und divergenten Wellenkämme] des gemessenen Wellensystems enthält.

Dadurch ergibt sich ein Winkel $\Theta' = 19^{\circ}28'$ ** zwischen dieser Ebene und der vertikalen Mittschiffsebene (diese Richtung ist auf den Abb. 4_÷ 7 angedeutet)

Die in dieser Abbildung [Abb. 14] aufgetragene theoretische Kurve stellt das asymptotische Wellenprofil nach dem bereits geschilderten Verfahren dar, nämlich wenn Θ , d.h. der halbe Öffnungswinkel des Hognerschen Wellenbildes mit 15° angenommen wird und man daher in Formel (10) $\Theta = 15^{\circ}$ einzusetzen hat. ***

*** Θ' ist [zufällig] gleich dem kritischen Winkel, hat aber keine physikalische Bedeutung. Um es von Θ in Formel (6) zu unterscheiden, haben wir den Strich angesetzt.

*** $\Theta = 15^{\circ}$ ergibt: $F_1=0,93$; $F_2=1,03$; $K_1=1,18$; $K_2=0,53$

Das gemessene Wellensystem stimmt mit dem theoretischen gut überein, wenn man davon absieht, daß die gemessenen Amplituden der Wellenprofile an den Schiffsseiten etwas schneller abklingen. Dies gilt auch für die Differenz der Wellenhöhen zwischen den Fällen mit und ohne Wulst.

Abb. 6 und 7 zeigen das Wellensystem desselben Schiffsmodelles bei einer höheren Geschwindigkeit, und zwar $F=0,354$. Infolge der Aufhebung der transversalen Wellen durch den Wulst erscheinen die divergenten Wellen relativ groß. In Abb. 7 sind die Wellenkämme deutlich ersichtlich. Auch diese Bilder wurden nach dem bereits beschriebenen Verfahren ausgewertet und hierdurch die Abb. 15 und 16 erhalten. Allerdings haben wir in diesen Fällen die Richtung [der Radial-schnittebene] nach einem 6% L vor dem FP gelegenen Punkt C bestimmt.

Auf Grund des oben Gesagten ziehen wir folgende Schlußfolgerung:

Wir haben festgestellt, daß an dem Schiffsmodell C201F2 auf der geplanten Geschwindigkeit $F=0,267$ ein wellenloser Bug verwirklicht wird. Die Beeinflussung des Wellensystems durch den Wulst stimmt mit der [theoretischen] Voraussage gut überein. Die [gegenseitige] Aufhebung der Elementarwellen, aus denen sich die Bug- und Wulstwellensysteme zusammensetzen, wird erreicht. Die Berechtigung der Hypothese, daß der Welleninterferenzmechanismus des Wulstes mit dem Begriff der Elementarwellen erklärt werden könne, wird erneut [experimentell] erwiesen.

Zusammenfassung

In dem zweiten Schritt unserer Untersuchungen über den wellenlosen Bug haben wir das gesamte Wellensystem nach dem stereophotogrammetrischen Verfahren aufgemessen und dabei die Realisierung des wellenlosen Zustandes bestätigt.

Die Ausarbeitung eines photogrammetrischen Verfahrens im Schleppmodellversuchswesen scheint uns ein wirksames Hilfsmittel für künftige Untersuchungen über Wellenerscheinungen an Schiffsmodellen anzubieten.

Die praktischen Versuche an einem Schiffmodell mit einem kugelförmigen Wulst wurden erst aufgenommen, nachdem der Welleninterferenzmechanismus des Wulstes bereits durch das Verfahren der Wellenformanalyse geklärt werden konnte.

Die diesmal erworbenen Wellenbildkarten lassen noch viele interessante Fragen als Untersuchungsgegenstand der Wellentheorie offen. Daher möchten wir die Untersuchungen an diesem Problem weiter verfolgen.

Zum Schluß sei noch gesagt, daß diese Untersuchung ebenso wie der vorhergehende Bericht erst durch die freundliche Anleitung von Professor Inui und die eifrige Mitarbeit der Kollegen aus der Schleppversuchsanstalt ermöglicht wurde. Bei der Aufnahme und Auswertung von Meßbildern arbeiteten Herr Ing. Nishimura und andere Mitarbeiter des "Geographical Survey Institute" mit.

Außerdem waren mir bei der Fertigstellung der Funktionstafel für die Berechnung der Wellenprofile an den Schiffsseiten die Mitglieder des Wellenwiderstandsunterausschusses des Schlepptankkomitees sehr behilflich.

Hiermit möchte ich allen diesen Herren meinen Dank aussprechen.

Schrifttum

- [1] Inui, Takahei, Kumano: Schlepptankversuche über die wellenbildende Wirkung des kugelförmigen Bugwulstes.
Zosen Kyokai Band 108 (1960).
Takahei: Untersuchungen über den wellenlosen Bug
(1. Teil), ebenda.
- [2] Inui, Kikuchi, Iwata: Wellenprofilmessung an Schiffsmodellen nach dem Verfahren des chemischen Films. Zosen Kyokai Band 100 (1956).
Inui, Masunaga, Miura, Ogoshi: Beobachtung des Heckwellenmechanismus durch Fotos. Zosen Kyokai Ronbunshu Band 101 (1957).
- [3] Kimoto Ujifusa: Luftphotogrammetrie (1957)
Ozaki Yukio: Photogrammetrie (1959)
Ijima Takashi: Strand- und Hafenvermessung (1960).
O. Lacmann: Die Photogrammetrie in ihrer Anwendung auf nicht-topographischen Gebieten, Hirzel-Verlag, Leipzig (1950).
G. Weinblum,
W. Block : Stereophotogrammetrische Wellenaufnahmen,
36. Hauptversammlung der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Berlin 1935.
A. Marussi: Stereophotogrammetric Apparatus for the Study of Waves generated by Ship Models, Intern. Shipb. Progress 2-15 (1955)
- [4] Kumano: Wellenloses Heck (2. Teil), Zosen Kyokai Ronbunshu Band 108 (1960).
- [5] E. Hogner: A Contribution to the Theory of Ship Waves, Arkiv for M.A. och Fysik Bd. 17, No. 12 (1923 24).

In den folgenden Arbeiten sind die Wellenbilder unendlich tiefer keilförmiger Körper ausführlich berechnet:

T. Jinnaka: Wave Patterns and Ship Waves; Advances in Calculations of Wave-Making Resistance of Ships, S. N. A. J. 60th Anniversary Series (1957).

In dieser Arbeit wurde bei der Berechnung der Wellenbilder nur die Lage der Spitze des keilförmigen Körpers berücksichtigt. Die endliche Ausdehnung und Selbstabschirmung des Keiles wurden vernachlässigt. Das Muster der Wellenkämme entsprach jedoch der Hognerschen Theorie.

Berechnung von Wellenkamm-Mustern (Wave Patterns):

T.H. Havelock: The Wave Pattern of a Doublet in a Stream, Proc. R.S. Vol. 121 (1928).

T.H. Havelock: Wave Patterns and Wave Resistance, T.I.N.A. Vol. 76 (1934).

- [6] T. Inui: Asymptotic Expansions Applied to Problems in Ship-Waves and Wave-Making Resistance, Proc. 5th I.N.C.A.M. (1955).
- [7] W. Hovgaard: Diverging Waves, T.I.N.A. Vol. 51 (1909).

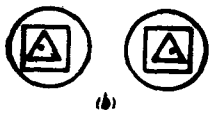


Abb.1

Tabelle Nr. 1

F	0.250	0.267	0.289	0.316	0.354
$K_0 L$	16	14	12	10	8
V (m/s)	1.236	1.321	1.430	1.563	1.751
Model Length = 2.500 m					

Tabelle Nr. 2

Model	Fig. No.	Velocity (m/s)			Sinkage (mm)
		Scheduled	Fore Half	Aft Half	
C-201	4	1.321	1.324	1.323	6.4
C-201 F 2	5	($F=0.267$)	1.323	1.320	5.7
C-201	6	1.751	1.751	1.748	13.2
C-201 F 2	7	($F=0.354$)	1.750	1.749	12.2

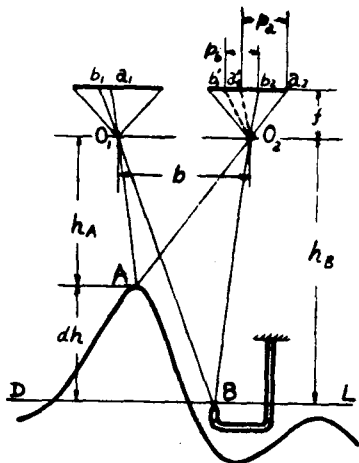
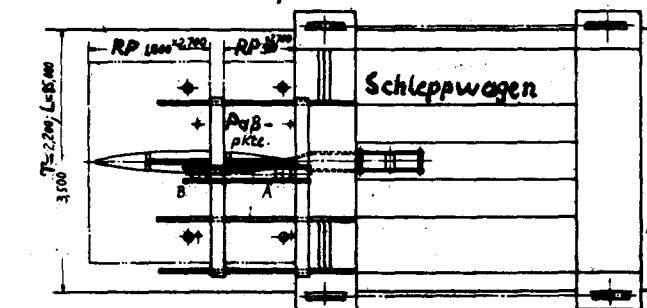
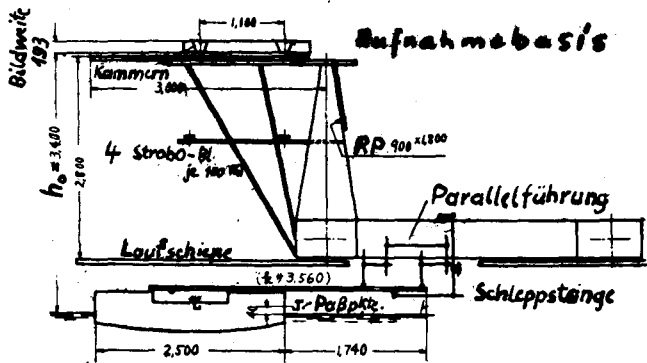


Abb.2

RP = Reflektorplatte



◆ = Strobe-Blitz
A, B = Stereokammern



h_0 = Höhe Objektiv-Zentrum über Wasserspiegel

Abb.3

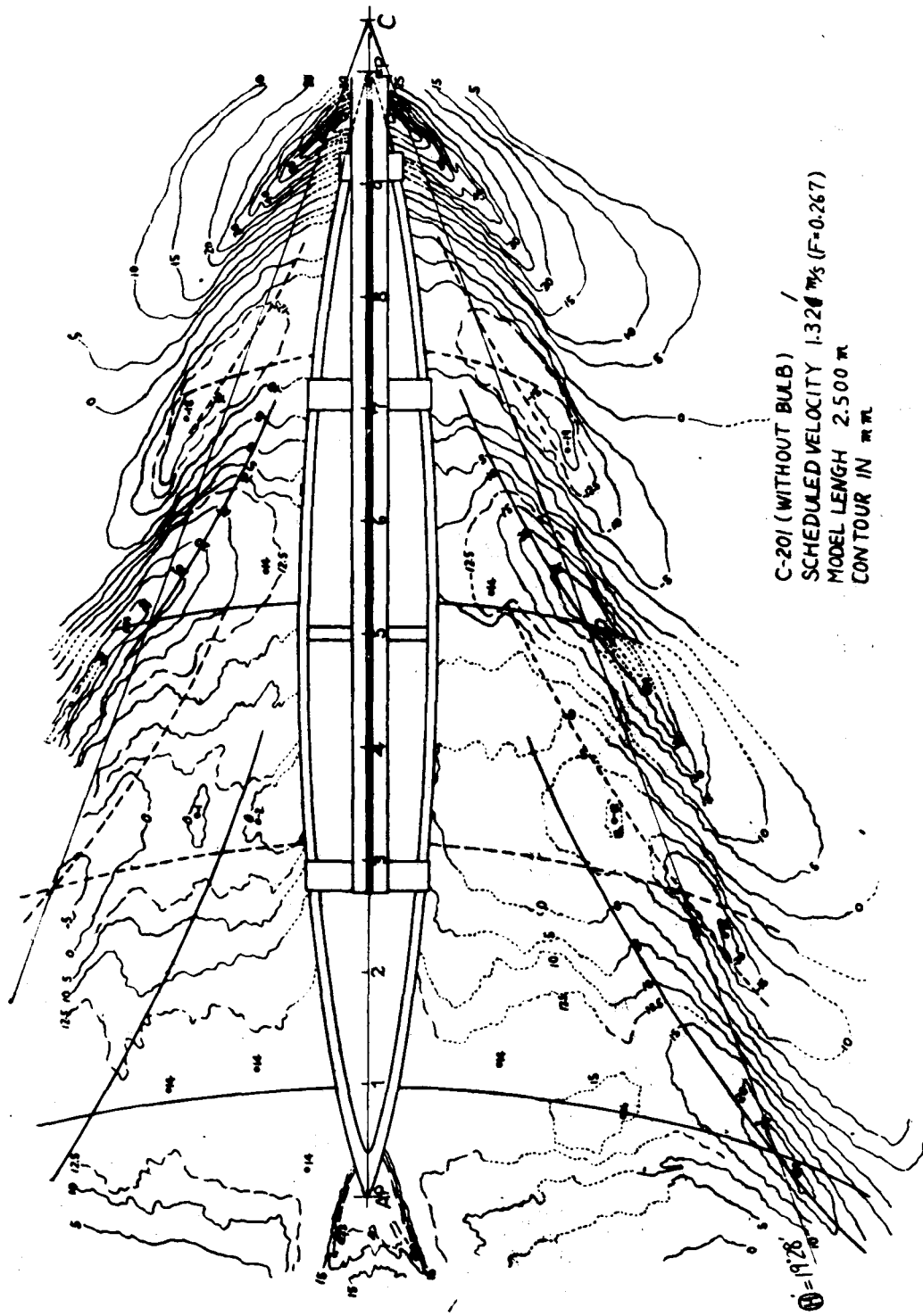


Abb. 4

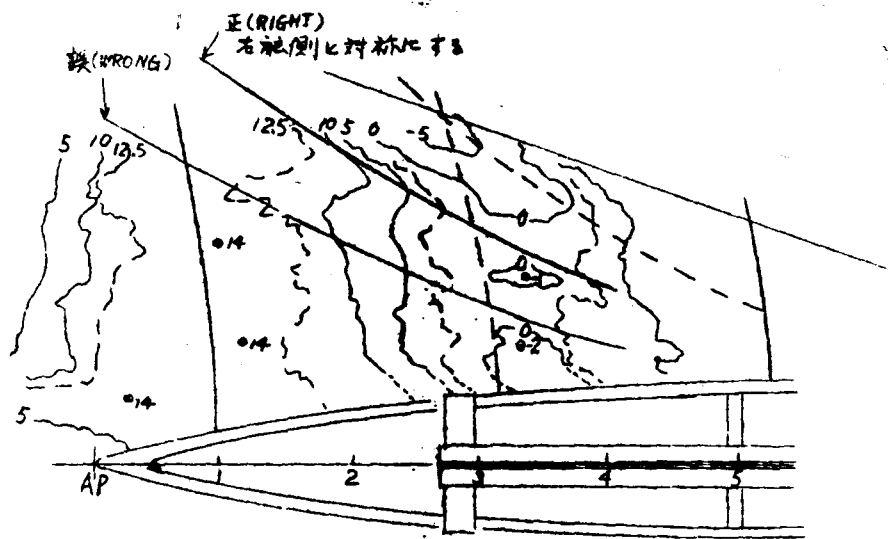


Abb. 4 Korrektur

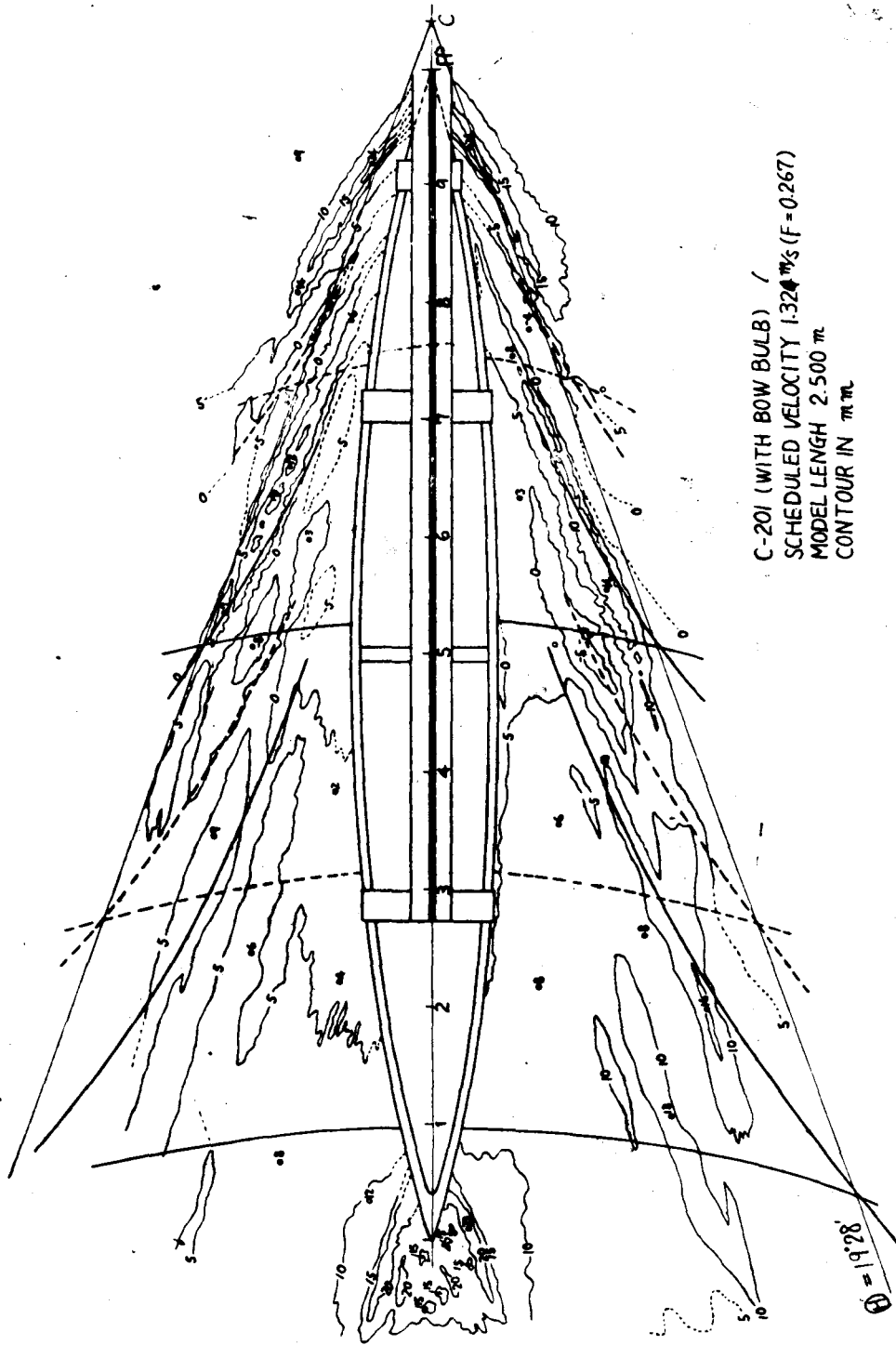


Abb. 5

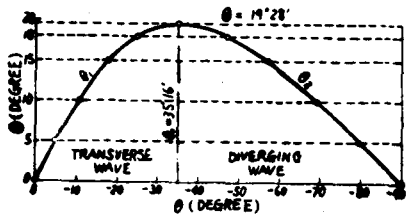


Abb. 8

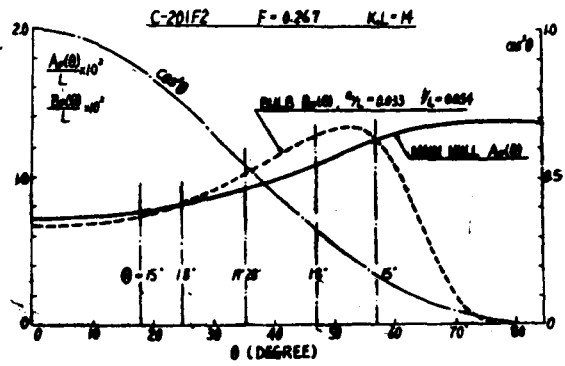


Abb. 9

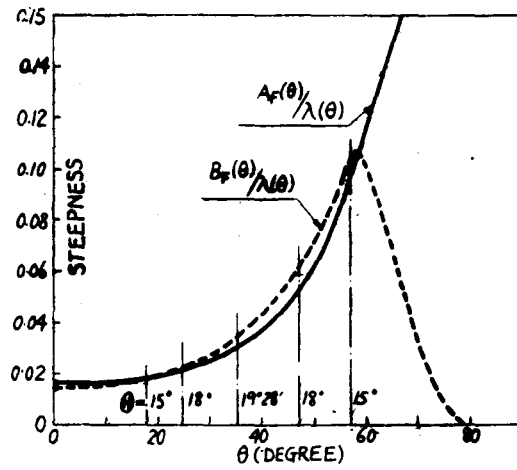
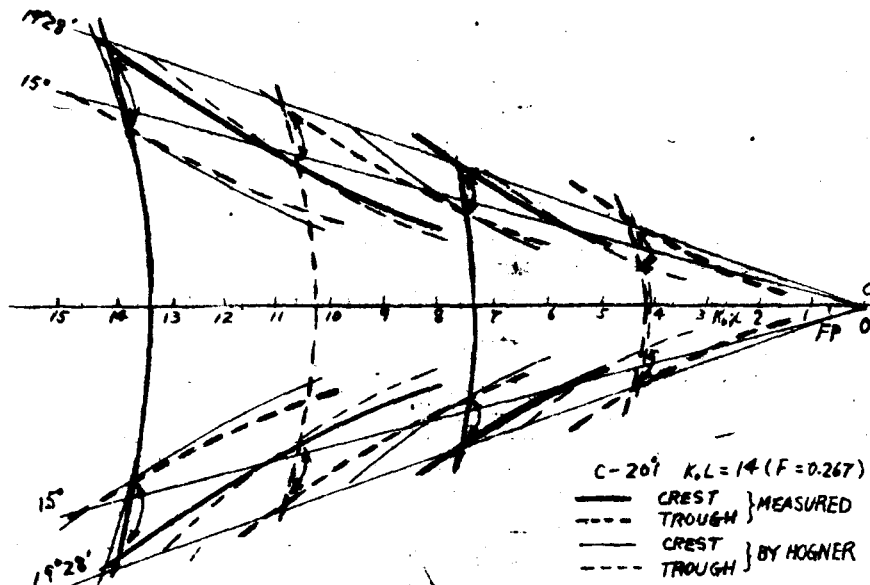


Abb. 10



C-201 K.L=14 (F=0.267)
 ——— CREST } MEASURED
 - - - TROUGH }
 ——— CREST } BY HOGNER
 - - - TROUGH }

Abb. 11

VII

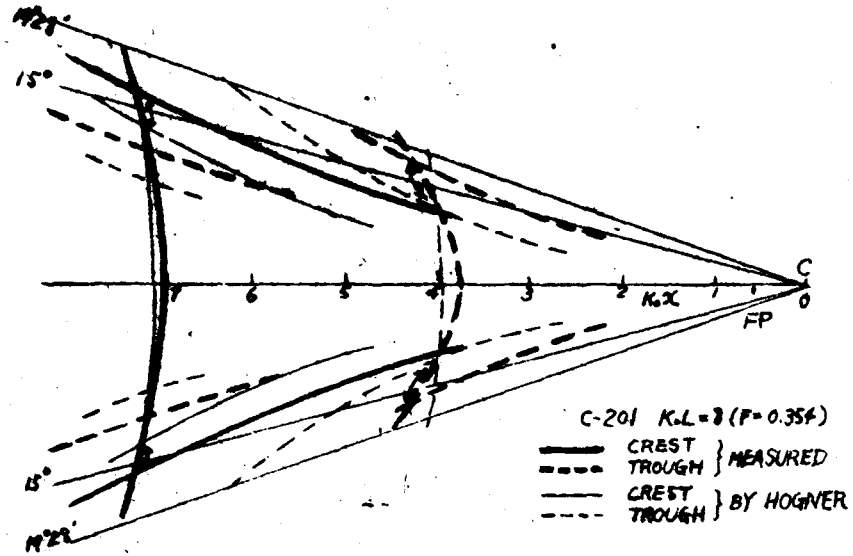


Abb.12

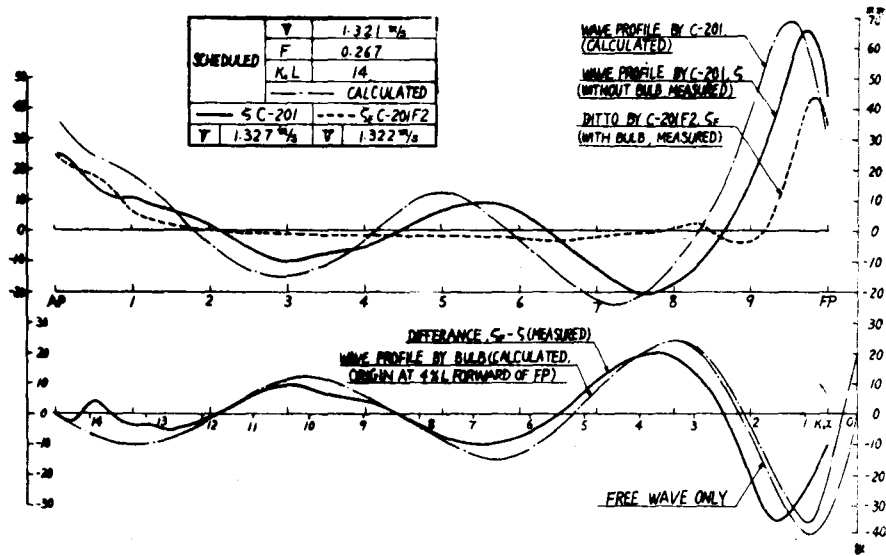
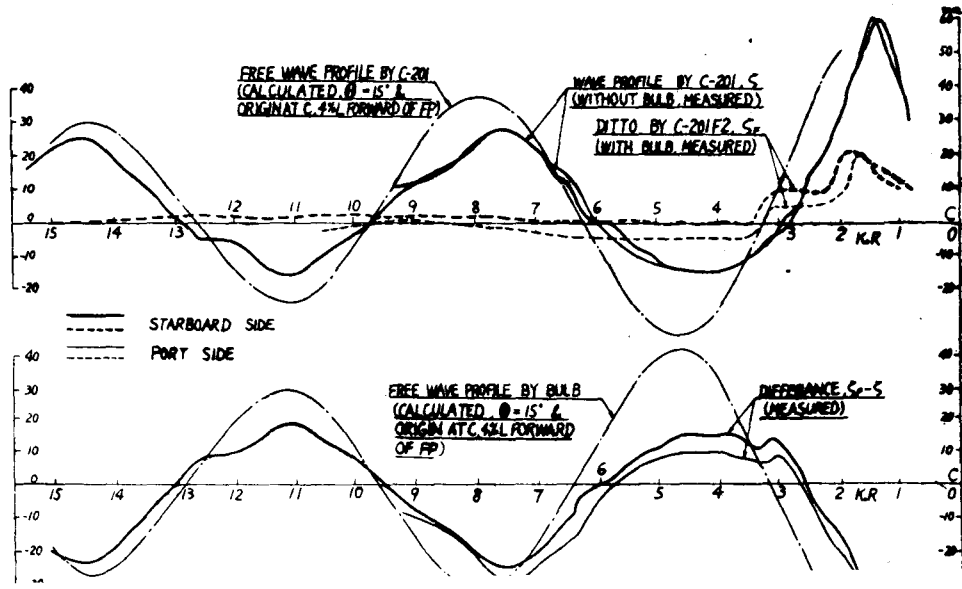


Abb.13



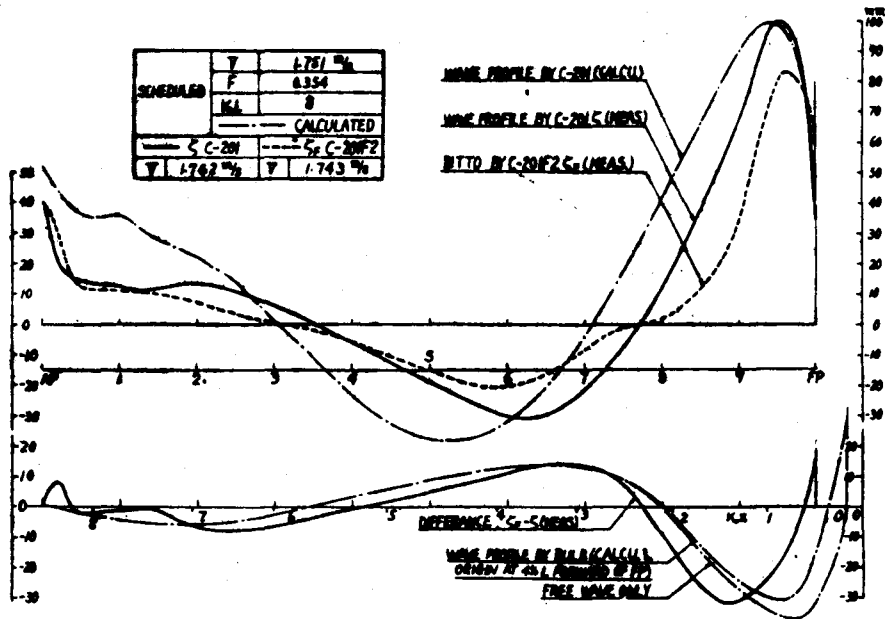


Abb. 15

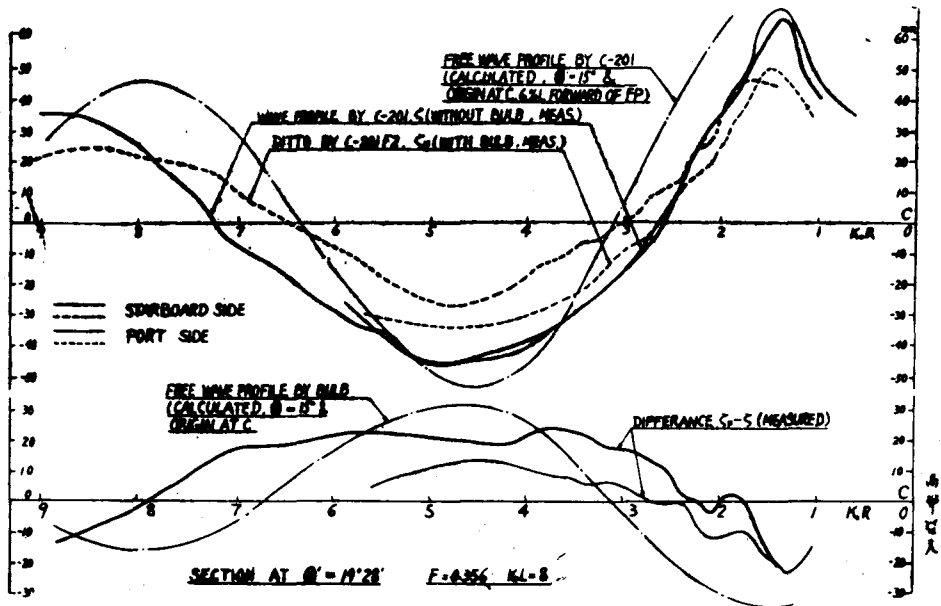


Abb. 16