

129 | August 1963

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Georg Weinblum

Das Internationale Seminar über die Theorie des Wellenwiderstandes von Schiffen

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Das Internationale Seminar über die Theorie des Wellenwiderstandes von Schiffen

G. Weinblum, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1963

© Technische Universität Hamburg-Harburg
Schriftenreihe Schiffbau
Schwarzenbergstraße 95c
D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

Das Internationale Seminar über die Theorie des Wellenwiderstandes von Schiffen

an der University of Michigan, Ann Arbor, vom 19. bis 23. August 1963

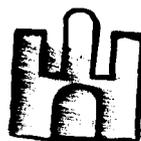
Bericht von Georg Weinblum, Hamburg



Sonderdruck aus der Fachzeitschrift „Schiff und Hafen“

Jahrgang 16 · Heft 4 · April 1964

Druck und Verlag: C. D. C. Heydorns Buchdruckerei, Uetersen bei Hamburg



Das Internationale Seminar über die Theorie des Wellenwiderstandes von Schiffen

an der University of Michigan, Ann Arbor, vom 19. bis 23. August 1963

Bericht von Georg Weinblum, Hamburg

Die Theorie des Wellenwiderstandes galt trotz der Existenz einer größeren Zahl von Veröffentlichungen bis vor kurzem im Schiffbau als eine einigermaßen esoterische Angelegenheit. Eine kleine Zahl von Fachleuten beschäftigte sich, geduldet oder scheu angesehen, mit der spröden Materie, allen voran Havelock, dessen Wirken auf dem Gebiet der Schiffshydrodynamik schon als klassisch anzusehen ist. Die Schiffbauversuchsanstalten, die ursprünglich ins Leben gerufen waren, um in erster Linie Probleme des Wellenwiderstands mit Hilfe des Modelles zu lösen, zeigten sich gegenüber der Theorie häufig uninteressiert; die Fachgesellschaften verzierten gelegentlich ihre Tagungen mit theoretischen Arbeiten aus unserem Gebiet quasi als Verbeugung vor der Wissenschaft. Besonders kennzeichnend für eine Ideenverwirrung ist die Tatsache, daß die international bestellte Hüterin des Schiffbauversuchswesens, die International Towing Tank Conference (ITTC), lange Zeit konsequent vermieden hat, sich mit der hydrodynamischen Betrachtung des Wellenwiderstandes und der damit eng zusammenhängenden analytischen Behandlung der Schiffsförmigen zu befassen, bis endlich im August 1963 auf der X. Internationalen Tagung in London ein Umbruch sich vollzogen hat. In Kürze wird die Beschäftigung mit unserem Gegenstand eine notwendige Voraussetzung für die wissenschaftliche Tätigkeit einer Schiffbauversuchsanstalt sein.

Die Mißachtung der Theorie hatte verständlicherweise negative Auswirkungen auf die Methodik des Versuchswesens gehabt.

Die Änderung dieses früheren unbefriedigenden Zustandes verdanken wir u. a. dem allgemeinen Aufschwung in der Schiffshydrodynamik. Die Veranstaltung eines besonderen Symposiums in Moskau (1937) hatte schon nachhaltige Impulse ausgelöst. Die Veröffentlichung eines Werkes — des II. Bandes der beachtenswerten Serie über Schiffstheorie in Japan — war von besonderer Bedeutung. Trotz einer weiteren gelungenen Tagung (veranstaltet vom Office of Naval Research in Scheveningen 1960) blieb das Studium des Wellenwiderstandes eine Zeitlang leicht zurück gegenüber den erfreulichen Fortschritten auf dem verwandten Gebiet der Theorie des Verhaltens von Schiffen im Seegang — sowohl was die Klärung der Grundlagen als auch die Anwendung der theoretischen Ergebnisse anbetraf. Dies liegt z. T. in der Natur der Sache. Widerstandsuntersuchungen erfordern bei dem jetzigen Stand der Erkenntnis einen höheren Grad der Genauigkeit; sodann ist die ideale Flüssigkeit hierbei in vielen Fällen ein unzulänglicheres mechanisches Modell wegen des Überwiegens der Zähigkeits-effekte. Schließlich sind die für ideale Flüssigkeit gefundenen Lösungen noch viel zu eng, um allen praktischen Bedürfnissen zu genügen. Trotzdem sind die Leistungen der Theorie so eindrucksvoll, daß die Praxis schon jetzt erheblichen Nutzen aus ihr ziehen kann.

Unter diesen Umständen war es ein glücklicher Gedanke der Vertreter der Schiffbauabteilung der University of Michigan, der Professoren Couch und Michelsen, ein kleines internationales Gremium von Fachleuten zu einer „Arbeitstagung“ einzuladen. Ihr Zweck war, die Lösung von Grundproblemen sowie die Anwendung theoretischer Ergebnisse auf die Praxis zu fördern. Berichte über experimentelle Untersuchungen waren erwünscht, sofern sie im Zusammenhang mit der Theorie standen.

Erschienen waren neben zahlreichen Mitgliedern aus USA Vertreter Englands, Frankreichs, Hollands, Japans und der Bundesrepublik.

Obwohl die Diskussion im Vordergrund stehen sollte, führte der Eifer der 50 bis 60 Teilnehmer dazu, daß der Vortrag der Berichte, die auf der Tagung vorlagen, die größte Zeit beanspruchte. Insgesamt waren fast 40 Arbeiten angefertigt worden. Trotzdem wurde der erwünschte Meinungsaustausch, der sich bis in die Nächte fortsetzte, erreicht.

Es besteht die Absicht, den vollständigen Tagungsbericht möglichst bald erscheinen zu lassen. Deswegen kann sich mein Referat auf die Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse, einige kritische Bemerkungen und den Hinweis auf die Bedeutung der Tagung beschränken. Ich habe mich bemüht, die Dinge hervorzuheben, die vom Standpunkt der Anwendung besonders interessant sind, doch sind der Vorliebe des Berichters in der Wahl des Stoffes einige Konzessionen gemacht worden.

Eine Zusammenstellung der Vorträge bringt der Anhang.¹⁾

Vorherrschend behandelte man in Ann Arbor den Widerstand bei gleichförmigen Geschwindigkeiten; nur in wenigen Fällen ging man auf nichtstationäre Probleme ein.

Dem Bericht lag es ob, ein Bild über den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft zu geben. Eine ausgezeichnete Zusammenfassung (bis 1958) ist in einem Buch von Kostjukov zu finden, auf dem der Vortragende wesentliche Teile seines Berichts aufgebaut hatte.²⁾ Wir heben aus diesem Werk hervor die Darstellung der Schiffsförmigen durch Singularitäten bzw. die noch eingehender gehaltene Bestimmung der erzeugenden Singularitäten für einen vorgegebenen Doppelkörper. Beachtlich ist die Diskussion der maßgeblichen Integralgleichung und ihrer ersten und zweiten Näherungslösung. Wellenformationen und Widerstand gleichförmig bewegter Quellsenkensysteme werden eingehend behandelt; zahlreiche nützliche Formeln sind angegeben. Als allgemeinsten Fall wird die „außermittige“ Bewegung unsymmetrischer Systeme im Kanal mit rechteckigem Querschnitt untersucht.

Eine Reihe schöner Details wie die Berechnung der Propellerwellen, des Widerstands von Schiffskarawanen (Tandemschiffe) usw. sei besonders hervorgehoben. Auch das Kapitel über Optimalformen bleibt interessant, obgleich inzwischen wesentlich weitergehende Ergebnisse erzielt worden sind, siehe die Arbeiten von Karp, Lurje und Kotik in Scheveningen 1960 sowie eine kürzlich erschienene sehr beachtliche Monographie von Shor (verteilt durch das Office of Naval Research³⁾).

In meinem Bericht betonte ich ferner die Notwendigkeit, bei der Ermittlung der erzeugenden Singularitäten den Einfluß der freien Oberfläche zu berücksichtigen, wie es erstmalig explicit Besho getan hat. Hervorgehoben wurde ferner eine beachtliche Studie von Siso, der in Fortsetzung der Arbeiten von Stoker und Wehausen eine zweite Näherung für den Widerstand schlanker Schiffe angegeben hat. (Eine Übersetzung von Dr. M. Kirsch liegt im Institut für Schiffbau, Hamburg, vor.)

¹⁾ Bei dieser Gelegenheit ist darauf hinzuweisen, daß mehrere weitere Tagungsberichte über Probleme der Schiffstheorie, insbesondere über Schiffshydrodynamik (veranstaltet vom Office of Naval Research der U.S. Marine) preiswert über das Government Printing Office in Washington D.C. zu beziehen sind.

²⁾ Kostjukov, A.A. Theorie der Schiffswellen und des Wellenwiderstands. SUDPROMGIS, Leningrad 1959.

³⁾ Obgleich (besonders auch dank der Aktivität von Wehausen auf dem Gebiet des Literaturausstausches) das schöne Buch von Kostjukov weiter verbreitet worden ist, blieben doch zahlreiche Ergebnisse wegen der sprachlichen Barriere den meisten Kongreßteilnehmern unbekannt. In Zukunft sollten energische Schritte unternommen werden, für eine schnelle Übersetzung wertvoller Werke zu sorgen, und damit den Wirkungsgrad der Forschung im allgemeinen und der Kongresse im besonderen zu erhöhen.

Schließlich gingen wir auf die Möglichkeit ein, „Tankkorrekturen“ für den Modellwiderstand (im rechteckigen Kanal) auf Grund der seit langem bekannten einschlägigen Formeln anzubringen.

Zusammenfassend wurde die Notwendigkeit betont, die Theorie des Wellenwiderstandes in idealer Flüssigkeit so weit wie möglich zu treiben und die Lösungen für alle praktisch in Frage kommenden Probleme numerisch auszuwerten. Eine quantitativ erschöpfende Lösung des technischen Problems kann jedoch erst eine Berücksichtigung der Zähigkeit bringen. — Einige experimentelle Ergebnisse systematischen Charakters wurden mitgeteilt.

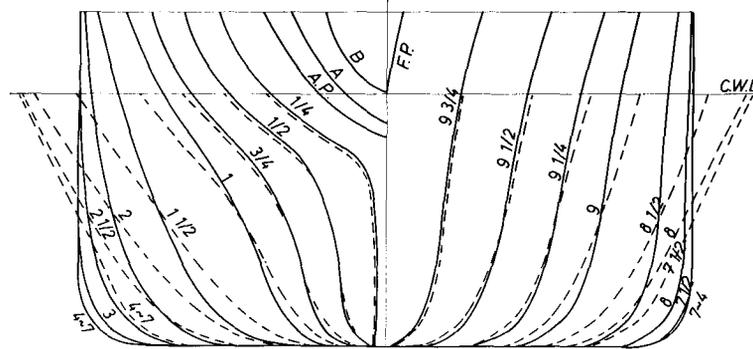
Gegenüber diesem kurz skizzierten Stand des Wissens brachte der Kongreß in vielen, keineswegs allen Punkten, einen Fortschritt. So trug er z. B. nicht zu dem von SISOV behandelten Problem der 2. Näherung bei. Eingehend wurden folgende Fragen erörtert:

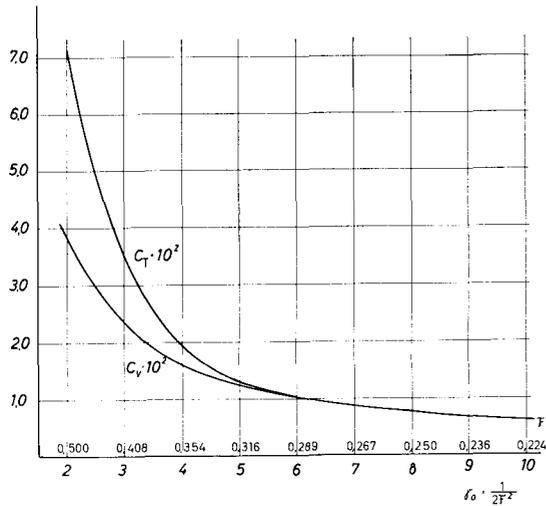
1. Die Erhellung des Zusammenhangs zwischen Schiffsförmern und erzeugenden Singularitäten als eine notwendige Voraussetzung für die Lösung des Widerstandsproblems. Wir nennen hier die Arbeiten von Pien, Yokoyama und die Anwendung der Ergebnisse von Hess und Smith durch Breslin und Eng.
2. Die Berechnung der vom Schiff erzeugten Wellenformationen nahm einen weiten Raum ein. Hier brachte u. a. Inui Tabellen für die Konstruktion der Wellenkonturen entlang des Schiffes. Ein weiterer Beitrag zu diesem Gebiet stammt von Takohai (s. Kapitel „Optimalformen“). Stereophotogrammetrisch ermittelte Wellenbilder um systematisch variierte Modelle zeigte Kajetani.

Lehre vom Verhalten der Schiffe im Seegang haben nach Anregungen von Cummins und einer grundlegenden Arbeit von Vossers mehrere Gelehrte veranlaßt, Formeln für den Wellenwiderstand des schlanken Schiffes (slender ship) auszuarbeiten. Vor der Tagung lag u. a. schon eine interessante Arbeit von Maruo (mit Nutzanwendung) vor. Es zeigte sich jedoch, daß die der Konzeption des schlanken Schiffes zugrundeliegende Vereinfachung für das Studium des Wellenwiderstands eher einen Rückschritt bedeutet. Eine scharfe Kritik verdanken wir u. a. Kotik.

5. Mit am intensivsten wurde das Problem der Schiffe geringsten Wellenwiderstandes behandelt. Anstelle des (unglücklichen) Slogans „waveless ships“ wählte man meistens die Bezeichnung „Schiffsförmern mit geringem Wellenwiderstand“. Wie erwähnt, war dieses Kapitel vor der Tagung durch eine eindrucksvolle Monographie Shor's glänzend vorbereitet. Es steht noch aus, in wie weit die von Shor propagierte „method of steepest decent“ für die Anwendungen fruchtbar wird.

Wir haben jetzt zwei Arbeitsrichtungen auf diesem Gebiet zu unterscheiden. Anknüpfend an die Arbeiten des Berichters und Pavlenkos ist die eine bestrebt, mit exakten oder angenäherten Methoden die einschlägigen Widerstandsintegrale (meist das Michell'sche) zu einem Minimum zu machen. Für den zweidimensionalen Fall waren hier entscheidende Ergebnisse schon dem Symposium in Wageningen (1960) vorgelegt worden. Jetzt brachten die Arbeiten von Bessho und Maruo eine Lösung durch Mathieu-Funktionen und numerische Ergebnisse für „Elementarschiffe“ (Kotik). Auch grundsätzliche Betrachtungen über die exakte Lösbarkeit bestimmter Aufgaben bringt





Beiwerte des Gesamtwiderstandes C_T und des zähen Widerstandes C_v für Optimalformen nach Wehausen

Abb. 2 über $\xi = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ und $\gamma_0 = \frac{1}{2F^2}$

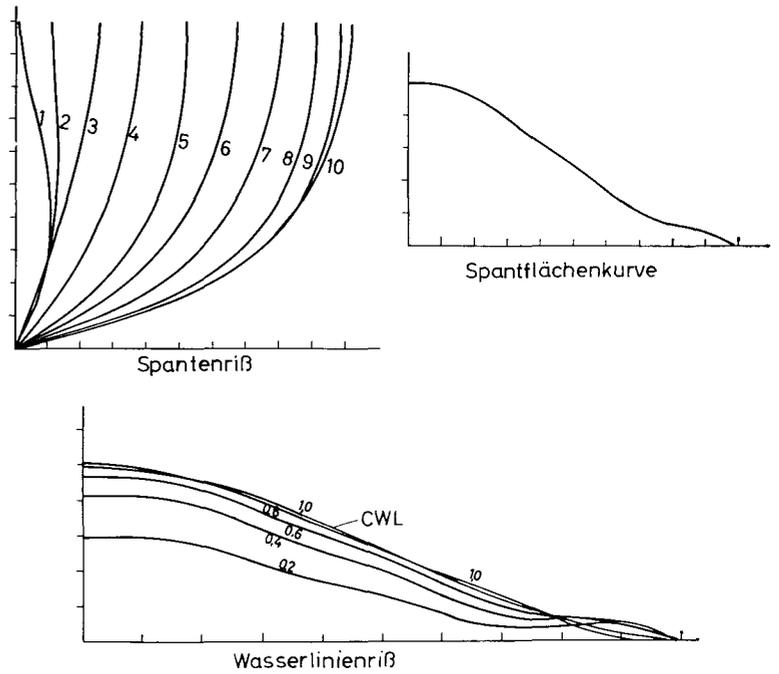
Als technisch wichtigste Arbeit sehen wir jedoch die von Wehausen, Lin und Webster über Schiffe geringsten Gesamtwiderstands an. Nach einem früheren Vorschlag des Berichters wird die Optimalform aus $R_t = R_w + cS$ abgeleitet. R_w ist das Michellsche Integral, S die benetzte Oberfläche, c ein Reibungsbeiwert. Im Gegensatz zum Vorgehen des Berichters wird die Schiffsoberfläche durch eine endliche **Fourierreihe** ausgedrückt; gegenüber früheren Arbeiten wird die Zahl der freien Formparameter (A_{mp} $m = 1 \dots 6$, $p = 1 \dots 6$) vielfach vergrößert. Obgleich als Optimalformen sich oft stark oszillierende Kurven ergeben, die meist nicht zu verwirklichen sind und von denen man nicht so recht weiß, wieweit sie durch das gewählte System der trigonometrischen Funktionen verbildet sind, erscheinen folgende Ergebnisse als **grundsätzlich** bedeutend:

a) Dank der größeren Zahl (Gesamtzahl ca. 30) willkürlicher Parameter erhielt man ceteris paribus z. T. erheblich geringere Minimalwiderstände als wir sie über unser Polynomsystem mit nur 3 willkürlichen Parametern erzielen konnten (Abb. 2). Unterhalb $\xi = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ ca. 0,27 ist der Wellenwiderstand praktisch zu vernachlässigen! (Abb. 2, 3).

b) In seiner ersten Arbeit hat der Berichter die Aufgabe behandelt, bei festem Displacement eine günstige Aufteilung desselben in horizontaler und vertikaler Richtung zu finden, indem für die Wasserlinien- und Spantfunktion $X(x)$ bzw. $Z(z)$ eines „Elementarschiffes“⁴⁾ je ein willkürlicher Parameter eingeführt wurde. Es ergaben sich qualitativ brauchbare Lösungen. Aus Gründen der rechnerischen Bequemlichkeit blieb man bei den Elementarschiffen, konzentrierte jedoch das Augenmerk auf die Optimallösung der Längsverteilung bei fester Gleichung des Hauptspants, womit dann auch die notwendige Beschränkung für die Tiefenverteilung des Displacements in sehr scharfer Form eingeführt ist. Aus Gründen der Einfachheit begnügte man sich dann als Ergebnis meist mit der Regel, das Displacement möglichst weit von der Oberfläche nach unten zum Kiel zu verlegen.

Die Untersuchung der Verfasser zeigt nun, daß man der Verteilung der Verdrängung der Tiefe nach beim Ritz-Ansatz mehr Bedeutung beilegen muß. Setzt man die indices p überall gleich 1 ($m_{xp} = 6 \times 1$), so ergeben sich vereinfachte Optimalformen, die von denen im allgemeinen Fall ($m_{xp} = 6 \times 6$) erzielten recht verschieden sein können.

4) Definiert durch den Gleichungstyp $y = X(x) Z(z)$ der Schiffsoberfläche.



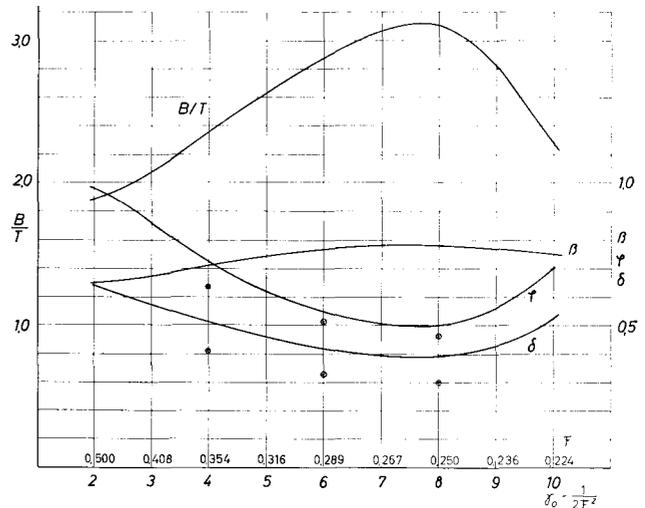
Optimalform nach WEHAUSEN
 $\gamma = 0,267 \frac{1}{2F^2} = \gamma_0 = 700$ $T/L = 0,0500$ $B/T = 306$
 $\delta = 0,392$
 $C_w = 0,003$
 $\gamma = 0,506$
 $\beta = 0,775$

Beiwert des Wellenwiderstands $C_{w_{ell}} = 0,219 \cdot 10^{-4}$
 Beiwert des Zähigkeitswiderstands $C_v = 89,0 \cdot 10^{-4}$

Abb. 3

Der Wellenwiderstand der „vereinfachten Formen“ (6×1) kann das Mehrfache desjenigen der allgemeineren Formen sein. Diese und weitere Untersuchungen bestätigen die früher aufgestellte Regel über das Primat der Längsverteilung des Displacements, zeigen jedoch, daß eine gewisse Freiheit im Ansatz für die Vertikalverteilung vonnöten ist. Abb. 3 und 4 zeigen Beispiele für die von Wehausen, Lin und Webster erzielten Resultate hinsichtlich der Formen und Hauptparameter.

c) Wehausen und Webster fanden ferner: Legt man die Form des Hinterschiffs fest und optimallisiert man nur die Vorschiffsform, so ist der Wellenwiderstand der so kon-



Hauptparameter der Optimalformen nach WEHAUSEN als Funktion des Geschwindigkeitsgrades

Abb. 4

struierten Normalform wesentlich höher als der der frei optimalisierten Schiffsform (Symmetrie von Vor- und Hinterschiff).

Maruo hat gezeigt, daß sich für die vertikale Strebe (nach Michell) und für das schlanke Schiff (Formel von Vossers-Maruo) sehr unterschiedliche optimale Verteilungen ergeben. Obgleich wir, wie vordem ausgeführt, der „slender ship theory“ keine große Bedeutung beilegen, ist die qualitative Übereinstimmung zwischen Ergebnissen der Theorie und vereinfachten Versuchen, die Maruo gefunden hat, von Interesse.

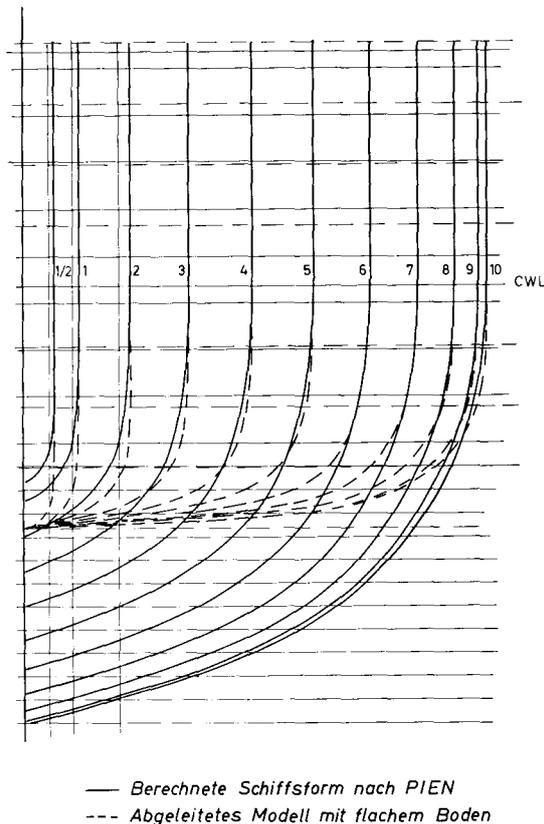


Abb. 5

Der zweite Weg, hinsichtlich des Wellenwiderstandes optimale (günstige) Schiffsformen zu entwickeln, führt über die Betrachtung der Wellenformation. Auf die zunehmende Bedeutung der Untersuchungen über die Wellenformation ist schon hingewiesen. Die Methode ist vom Standpunkt des Ingenieurs naheliegend, da sie von der Anschauung ausgeht. Bekanntlich fügen die Schiffbau-Versuchsanstalten ihren Versuchsprotokollen Aufnahmen der vom Modell erzeugten Wellen im Bereich des Modells bei, aus denen man insbesondere mit einiger Genauigkeit die Wellenprofile an der Außenhaut ersehen kann. Erfahrene Versuchsingenieure vermögen gelegentlich aus diesen Bildern ein Urteil über die Widerstandsqualitäten von Schiffsformen zu gewinnen und Vorschläge für Verbesserungen zu machen. Schon recht früh wurde die Wirkung des Bugwulstes qualitativ zutreffend durch die Interferenzwirkung der Wellensysteme (des der Normalform und des Wulstes) am Bug erklärt. Besonders konsequent hat Inui die Betrachtung der **Wellenformationen** als Mittel zur Herabsetzung des Wellenwiderstandes und zum Auffinden günstiger Schiffsformen ausgebaut; bekannt sind seine erfolgreichen Untersuchungen über die Reduktion der Bugwelle einer Normalform durch Hinzufügen eines geeigneten Wulstes. Die Schule Inuis war auf dem Kongreß mit einer ganzen Reihe von Berichten vertreten; er selbst befaßt sich mit der Entwicklung günstiger **Normalformen**, ausgehend von der Betrachtung des Wellensystems. Praktisch und theoretisch

interessante Ergebnisse werden erzielt. Diese Studie ist z. T. durch eine Arbeit von Pien angeregt, der wiederum in verschiedenen Punkten an Inui anknüpft. Ihm folgend berechnen Pien und Moore die freien Wellensysteme, benutzen die Ergebnisse zu Widerstandsbetrachtungen und konstruieren die Körper nach Kutta-Runge. Über das bisher Übliche hinausgehend ordnen sie Singularitätenverteilungen auf einer **Skelettlfläche** an, nicht mehr auf der **Symmetrieebene** des Schiffes, um größere Verhältnisse B/T zu erreichen. Als Beispiel für die numerische Auswertung wird als Skelettlfläche ein rhombisches Prisma benutzt. Der Wellenwiderstand läßt sich nach dem verallgemeinerten Integral von Havelock berechnen. Ähnlich dem Verfahren des Berichters für das Michellsche Integral tabuliert Pien Hilfsfunktionen, die eine schnelle Berechnung des Widerstands in konkreten Fällen gestatten. Die Singularitätsverteilungen lassen sich optimieren. Ein Beispiel für eine günstige Verteilung wird erbracht, Versuche bestätigen das rechnerische Ergebnis. Manche als überraschend wiedergegebene Resultate lassen sich qualitativ jedoch schon über den bekannten Einfluß des Schärfegrades auf den Widerstand erklären (ebenso bei Inui), z. B. die Tatsache, daß der Wellenwiderstand in einem wichtigen Froude-Zahl-Bereich **zunimmt**, wenn man die Verdrängung durch Wegschneiden des Hängebauches einer Inui-ähnlichen Schiffsform **verringert** (Abb. 5). Die Variante mit dem flachen Boden hat eine sehr viel völligere Spantflächenkurve (höheren Schärfegrad).

Wir verweisen ferner auf die Darstellung von Wellenprofilen am Schiff (Inui) und eine Arbeit von Takahai, in der ausgehend von einfachen Quellverteilungen systematische Veränderungen der Wellenkonturen untersucht werden mit der Absicht, über die Analyse der letzteren zu günstigen Widerstandseigenschaften zu kommen. Eine ähnliche Aufgabe verfolgt eine Studie von Kajetani: Ausgehend von einer praktischen Frachtschiffsform werden vereinfachte analytisch definierte Modelle systematisch variiert (insbesondere durch Hinzufügen von Bug- und Heckwulsten); die Wellenformation um die Modelle wird stereophotogrammetrisch ausgemessen und mit Höhenschichtlinien festgelegt. Die Widerstandskurven werden im Zusammenhang mit den Wellenmessungen diskutiert. Das Verfahren erscheint geeignet, unsere Anschauung zu bereichern; für routinemäßige Versuche ist der Aufwand zu groß. Die Ergebnisse sind z. Zt. noch nicht überzeugend.

Weitere Mitteilungen der Schule Inuis zielen auf unmittelbare praktische Anwendungen, d. h. die Verbesserung der Widerstandseigenschaften von bestimmten Schiffstypen wie Fischereifahrzeugen, schnellen Frachtschiffen und Zerstörern.

In Fortsetzung der Inuischen Arbeiten hat Yim eine exakte Studie vorgelegt, in der die Möglichkeiten untersucht werden, im dreidimensionalen Falle den Wellenwiderstand des Bugsystems **zu Null** zu machen. Antwort (1) lautet, durch einen unendlich langen vertikalen Zylinder am Bug des Normalschiffs und (2) durch Einführen von höheren Singularitäten (Quadrupolen).

Dieses zweite Verfahren zur Erzeugung günstiger Schiffsformen, das auf der Analyse einzelner Teile des Wellensystems basiert, kann praktische Vorzüge aufweisen, weil es in anschaulicher Weise gestattet, den Einfluß der Viskosität empirisch zu berücksichtigen.

Die bislang vorliegenden Untersuchungen weisen darauf hin, daß auch eine Verfeinerung der Theorie, die auf dem Begriff des idealen Mediums basiert, vielen Widerstandsphänomenen nicht gerecht werden kann, die durch die Zähigkeit verursacht werden. Die gelegentlich überraschend gute quantitative Übereinstimmung zwischen Ergebnissen der vereinfachten (Michellschen) Theorie, gültig für ideale Flüssigkeit, und denen des Versuchs ist keineswegs ein Beweis dafür, daß weitere Verfeinerung in einem weiteren Bereich der Anwendungen zu besseren Resultaten führen wird. Dies zeigt sich in der theoretisch-experimentellen Arbeit von Breslin und Eng. Wir sehen in Abb. 6 das

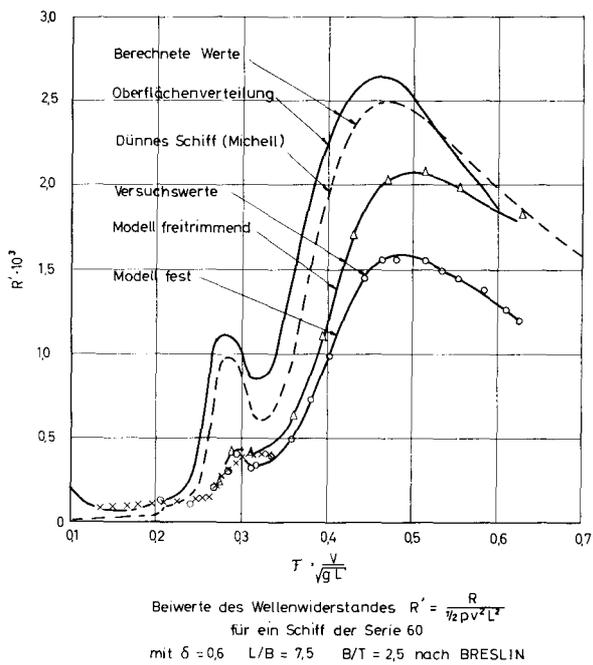


Abb. 6

Resultat einer Widerstandsberechnung nach Havelock für ein Schiff der Serie 60 $\delta = 0,6$ (Singularitätenverteilung nach Hess und Smith, Abb. 7). Die Divergenz zwischen den Ergebnissen dieser Rechnung und denen des Versuchs ist größer als die entsprechende nach Michell.

Trotzdem betrachten wir es als selbstverständlich, daß die Theorie des Wellenwiderstands in der idealen Flüssigkeit systematisch weiterverfolgt wird. In dieser Beziehung waren noch nicht genügend Ansätze für eine fruchtbare Weiterentwicklung in Ann Arbor zu sehen.

Den Theoretiker interessiert besonders eine Studie von Wehausen.

Bislang hat man versucht, den Einfluß der Zähigkeit auf den Wellenwiderstand etwa mit folgenden Methoden abzuschätzen:

1. Korrekturen mit einem oder mehreren empirisch ermittelten Koeffizienten (Havelock, Wigley, Inui), deren Bedeutung z. T. physikalisch erklärt wurde.
2. Phänomenologische Erklärung durch Annahme „effektiver“ (durch die Zähigkeit bedingter) Hinterschiffsformen (Havelock) oder Schlußbedingungen für den Nachlauf.
- 2a Ersatz der tatsächlichen Körperform durch eine effektive, durch die Verdrängungsdicke der Grenzschicht ver-

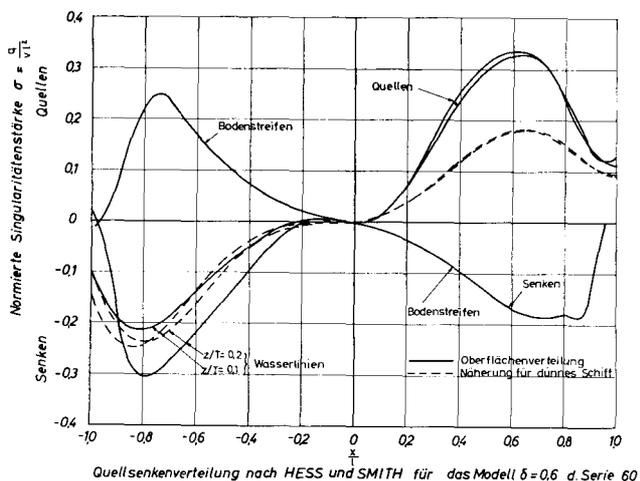


Abb. 7

größerte Körperform mit offenem oder geschlossenem Nachlauf.

3. Hydrodynamische Theorie, bei der die Zähigkeit des Mediums berücksichtigt wird; bis jetzt nur unter Vernachlässigung der Grenzbedingungen (Sretenski).

Wigley hat einen Bericht beigesteuert, in dem er nachweist, daß man nach dem Verfahren unter 2a (Hinzufügen der Dicke der Verdrängungsgrenzschicht zu den Körperformen) bei offenem Nachlauf nur geringfügige Zähigkeitskorrekturen erhält. Durch geeignet angepaßte Schlußbedingungen bei dem Nachlauf läßt sich eine brauchbare Übereinstimmung mit Versuchen erreichen.

Breslin schlägt (zunächst für den zweidimensionalen Fall) folgendes Procedue vor: man wählt ein Profil, für das der Verlauf der Druckverteilungskurve in realer Flüssigkeit vorliegt. Ausgehend von dieser Druckverteilung konstruiert man ein neues Profil, das die vorgeschriebene Druckverteilung bei Anströmung in idealer Flüssigkeit annimmt; für dieses Profil berechnet man den Wellenwiderstand. Ergebnisse stehen noch aus.

Einen neuen Weg beschreitet T. h. Wu wie folgt: im zweidimensionalen Fall wird für ein vorgegebenes Wasserlinienprofil die turbulente Grenzschicht unter der Voraussetzung berechnet, daß als Randbedingung an der äußeren Grenze dieser Reibungsschicht das Geschwindigkeitsfeld besteht, welches sich in idealer Flüssigkeit (unter Berücksichtigung der Wellenphänomene!) einstellen würde. Die Größe des Reibungswiderstandes und damit der Einfluß der Wellenformation auf den Reibungswiderstand lassen sich ermitteln. Numerische Ergebnisse liegen noch nicht vor. Den umgekehrten, uns hier besonders interessierenden Einfluß der Reibung auf die Wellenbildung, insbesondere den Wellenwiderstand, kann man noch nicht bestimmen, solange physikalisch plausible Ansätze über die Wirkung des Nachlaufs fehlen.

Wir fassen das Ergebnis der Seminararbeit gegenüber dem früheren Stand der Wissenschaft im folgenden zusammen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß wegen sprachlicher Schwierigkeiten manches früher Erreichte vielen Teilnehmern nicht bekannt war. Wir betonen deshalb nochmals die Notwendigkeit einer planvollen Übersetzertätigkeit.

1. Fortschritte in der Bestimmung des Zusammenhangs zwischen der Körperform und den erzeugenden Singularitäten vice versa (für Doppelmodelle!) sind erzielt worden, jedoch fehlten neue Beiträge zur Berücksichtigung der freien Oberfläche auf diese Beziehungen. Damit hat man den Anschluß an frühere Spitzenergebnisse (Bessho, Sisov) nicht gefunden.
2. In der Berechnung der a) am Schiff erzeugten Wellenformationen und der Ermittlung des Wellenwiderstandes aus Elementen des Wellenbildes hat man Fortschritte erzielt bzw. die bekannten Ergebnisse bestätigt. Auch das Experiment hat nützliche Informationen gebracht. Man kann annehmen, daß (zumindest für Forschungsaufgaben) die Berechnung des Wellenwiderstandes aus experimentell ermittelten Wellenschnitten sich als anerkannte Methode einbürgern wird.
3. Die slender ship theory oder Theorien scheint(en) nicht geeignet zu sein, unsere Erkenntnisse über den Wellenwiderstand zu erweitern.

Es hat sich aber auch gezeigt, daß die Berechnung des Wellenwiderstandes über Singularitätensysteme, die auf der Schiffsoberfläche verteilt sind, nicht zu Ergebnissen zu führen braucht, die mit Versuchen besser übereinstimmen als die Berechnung nach Michell.

4. Die Lösung des klassischen Problems, optimale oder richtiger günstige Schiffformen zu finden, ist gefördert worden.

- a) Mit Hilfe der Methode von Ritz hat man durch Vermehrung der Zahl der freien Parameter wesentlich neue Einsichten gewonnen.
- b) Die Anwendung der exakten Methode ist analytisch und numerisch erfolgreich ausgebaut worden (zweidimensionaler Fall und dreidimensionaler Fall für Elementarschiffe).
- c) Das besonders von Inui geförderte Verfahren, den Wellenwiderstand über die Betrachtung der Wellenformationen zu minimalisieren, hat weitere Fortschritte gemacht.
5. Wie unter 1. erwähnt, sind Verallgemeinerungen und Verfeinerungen der Theorie des Wellenwiderstands (nichtlineare Effekte), die vor dem Seminar veröffentlicht waren, nicht ausgewertet oder weiterentwickelt worden. Die Durcharbeitung der zahlreichen Probleme des Wellenwiderstands in idealer Flüssigkeit, deren Lösung noch aussteht, sollte mit aller Energie betrieben werden (flache Schiffe, allgemeinere Schiffsformen). Die vermutlich immer noch verbleibende starke Diskrepanz zwischen diesen Ergebnissen und denen des Versuchs wird dann wesentlich durch die **Zähigkeitseinflüsse** zu klären sein.
6. Auf dem letzteren Gebiet sind erfolversprechende Ansätze während des Seminars mitgeteilt worden, deren konsequente Verfolgung die Entwicklung einer praktisch brauchbaren semiempirischen Theorie verspricht.

Den Entwurfsingenieur interessiert, daß trotz der Beschränkungen die Theorie schon jetzt nützliche Erkenntnisse vermitteln kann und in Zukunft erhöht vermitteln wird.

Den Veranstaltern des Seminars, insbesondere den Professoren Couch und Michelsen der University of Michigan sowie dem Office of Naval Research, vertreten durch Mr. R. Cooper und Dr. Silverstein, gebührt Dank und Preis für die Initiative und Mühe, die sie investiert haben.

Einige kurze Bemerkungen zur Historie der Schiffbauabteilung der Universität. Sie ist schon in den achtziger Jahren des vorigen Säkulums begründet. Größere Bedeutung gewann sie seit der Berufung von Prof. Sadler um 1900. Er entwarf und baute den bekannten Schleppkanal (Abmessungen etwa $110 \times 6,7 \times 3$ m), in dem neben Aufträgen eine ganze Reihe bekannter Forschungsarbeiten über den Schiffswiderstand durchgeführt worden sind. Neben Sadler nennen wir als Autoren die Professoren Bragg, Lindblad und Baier; der letztere leitete die Anstalt, bis vor einigen Jahren Professor Couch als Head of the Department of Naval Architecture berufen wurde. Die Schiffbauabteilung entfaltet in Unterricht und Forschung eine intensive Tätigkeit.

Mit der Veranstaltung dieser Tagung hat sie gezeigt, daß sie berufen ist, in der internationalen Familie der Schiffstheoretiker eine gewichtige Rolle zu spielen.

Den Gastgebern und den Vortragenden danke ich für die Erlaubnis, die Diagramme an dieser Stelle zu veröffentlichen.

Programm des Seminars

Technische Sitzung

Vors.: B. Silverstein

G. Weinblum: **On Problems of Wave-Resistance Research.**
T. Inui, H. Kajitani und K. Kasahara: **Non-Bulbous Hull Forms Derived from Source Distribution on the Vertical Central Rectangular Plane.**

P. C. Pien: **Theoretical and Experimental Study of Wave-Making Resistance of Ships.**

Technische Sitzung

Vors.: L. Landweber

K. Eggers: **Theoretical Foundation of the Wave Analysis Performed at the Hamburg Tank.**

S. D. Sharma: **A Comparison of the Calculated and Measured Free-Wave Spectrum of an "Inuid" in Steady Motion.**

G. E. Gadd und N. Hogben: **An Appraisal of the Ship Resistance Problem in the Light of Measurements of the Wave Pattern.**

J. N. Newman: **The Determination of Wave-Resistance from Wave Measurements Along a Parallel Cut.**

L. W. Ward: **The X-Y Method of Determination of Ship Wave-Resistance from the Wave Pattern.**

Technische Sitzung

Vors.: N. Hogben

H. Kajitani: **Wave-Resistance Obtained from Photogrammetrical Analysis of the Wave Pattern.**

T. Inui und H. Tagano: **Photogrammetrical Study of Shoulder Waves, with Special Reference to Tanker Design.**
T. Takahei: **An Analysis of Wave Profile Alongside the Ship.**

T. Inui: **Some Mathematical Tables for the Determination of Wave Profiles (Work Sponsored by The Wave-Making Subcommittee, Japan Towing Tank Committee).**

T. Inui, T. Takahei und T. Tagori: **A Guide Note for Design of Ship Model Basins with Special Reference to "Wave Analysis" Work.**

Technische Sitzung

Vors.: J. P. Breslin

L. Landweber: **An Evaluation of the Method of Direct Determination of Wavemaking Resistance from Surface-Profile Measurement.**

G. R. G. Lewison: **Determination of the Wave-Resistance of a Partly Immersed Axisymmetrical Body.**

S. W. W. Shore: **A Fourier Transform Method for Calculating Wave-Making Resistance from Wave Height on a Line Parallel to a Ship's Track.**

Technische Sitzung

Vors.: Timman

E. O. Tuck: **On Vossers Integral.**

W. P. A. Joosen: **The Velocity Potential and Wave-Resistance Associated with the Motion of Slender Ship.**

J. J. Stoker: **The Motion of Ships in a Seaway.**

H. Maruo: **Energy Relation in the Wave-Resistance of Ships in a Seaway.**

S. Ciolkowski: **Application of Friedrichs Technique to the Ship Problem.**

Technische Sitzung

Vors.: J. J. Stoker

J. V. Wehausen: **The Limitation of Thin-Ship Theory.**

F. C. Michelsen: **Evaluation of Wave-Resistance for Polynomial Centerline Singularity Distributions.**

S. N. Karp: **Resistance in and to Some Simple Ship Theories.**

M. Bessho: **Wave Free Distribution and Its Application.**

Technische Sitzung

Vors.: T. Y. Wu

J. V. Wehausen und W. C. Webster: **Ships of Minimum Wave-Resistance.**

J. Kotik: **Some Aspects of the Problem of Minimum Wave-Resistance.**

M. Bessho: **On the Minimum Wave-Resistance of Ships with Infinite Draft.**

H. Maruo: **Experiments on the Theoretical Ship Forms of Least Wave-Resistance.**

B. Yim: **On Ships with Zero Wave-Resistance.**

Technische Sitzung

Vors.: J. V. Wehausen

J. P. Breslin und King Eng: **Calculation of the Wave-Resistance of a Ship Represented by Source Distributed over the Hull Surface.**

N. Yokoyama: **On the Relation between Practical Ship's Hull Form and an Attempted Singularity Distribution.**

N. Yokoyama: **Fishing Boat of the Waveless Hull Form.**

R. Tsunoda, K. Kasahara und K. Takekuma: **A High-Speed Cargo Liner Design Based upon the "With Bulb" Waveless Concept.**

S. Takezawa: **An Application of the Waveless Theory to the Design of a Destroyer Form (Read by N. Yokoyama).**

Technische Sitzung

Vors.: J. N. Newman

H. Maruo: **Energy Relation in the Wave-Resistance of Ships in a Seaway.**

T. Y. Wu: **A Note on Wave-Resistance.**

C. Wigley: **Effects of Viscosity on Wave Resistance (Read by G. Weinblum).**