

99 | 1962

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Dr.-Ing. Maria Kirsch

Ein Beitrag zur Berechnung des Wellenwiderstandes im Kanal

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Ein Beitrag zur Berechnung des Wellenwiderstandes im Kanal

Dr.-Ing. Maria Kirsch, Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

Die Aufgabenstellung

Zur Untersuchung des Einflusses beschränkter Kanalbreite und -tiefe ist mit Hilfe eines elektronischen Rechenautomaten, nämlich der IBM 650, eine Reihe von Rechnungen durchgeführt worden. Es handelt sich um eine numerische Auswertung des bekannten Integralausdrucks für den Wellenwiderstand im Kanal in der Form von Sretenski [1], die für numerische Rechnungen am besten geeignet ist. Wigley [2] und Eggers [6] geben eine kurze Erläuterung dieses Ausdrucks, der wie folgt lautet:

$$R_w = \frac{4 \rho g}{K} \left[I_0^2 + J_0^2 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (I_n^2 + J_n^2) \right]$$

mit

$$I_n = \frac{\int_{-L/2}^{+L/2} \int_0^T \frac{\partial f(x,z)}{\partial x} \operatorname{Cos} \gamma_n (H-z) \cos \left[x \left(\frac{g \gamma_n}{v^2} \operatorname{Tang} \gamma_n H \right)^{1/2} \right] dx dz}{\left[\left(1 + \frac{4 \pi^2 n^2}{K^2 \gamma_n^2} \right) \operatorname{Cos}^2 \gamma_n H - \frac{1}{F_n^2} \right]^{1/2}}$$

$$J_n = \frac{\int_{-L/2}^{+L/2} \int_0^T \frac{\partial f}{\partial x} \operatorname{Cos} \gamma_n (H-Z) \sin \left[x \left(\frac{g \gamma_n}{v^2} \operatorname{Tang} \gamma_n H \right)^{1/2} \right] dx dz}{\left[\left(1 + \frac{4 \pi^2 n^2}{K^2 \gamma_n^2} \right) \operatorname{Cos}^2 \gamma_n H - \frac{1}{F_n^2} \right]^{1/2}}$$

Durch J_n ist der symmetrische Anteil bezeichnet, durch I_n der unsymmetrische Anteil; γ_n ist die Wurzel der charakteristischen Gleichung:

$$\frac{1}{F_n^2} \operatorname{Tang} \gamma_n H = \gamma_n H - \frac{4 \pi^2 n^2 H^2}{K^2 \gamma_n H}$$

Es gelten folgende Bezeichnungen:

ρ = Dichte der Flüssigkeit

g = Erdbeschleunigung

K = Kanalbreite

H = Kanaltiefe

L = Länge des Schiffes

T = Tiefgang des Schiffes

$f(x, z)$ = Gleichung der Oberfläche des Schiffes

Auf Grund der Beziehung

$$R_w = \zeta_w \frac{\rho}{2} v^2 \Omega$$

ist aus der angegebenen Gleichung für den Wellenwiderstand der Wellenwiderstandsbeiwert ζ_w für zwei Modelle in Kanälen unterschiedlicher Breite und Tiefe bestimmt worden. Die Ergebnisse sind als Funktionen der Froudeschen Zahl und des Parameters H/L in Kurvenform zusammengestellt und teilweise mit bereits vorhandenen Ergebnissen anderer Wissenschaftler verglichen. Außerdem ist versucht, festzustellen, von welcher

Kanaltiefe und -breite an der Einfluß der Beschränkung durch den Kanal vernachlässigt und die Flüssigkeit als unbegrenzt angesehen werden kann.

Der vorliegende Beitrag gibt nur einen kurzen Auszug aus den bereits erhaltenen Ergebnissen, deren Auswertung bei weitem noch nicht abgeschlossen ist.

Das Programm

Die Größen ζ_w wurden für zwei Modelle berechnet, die durch folgende Angaben charakterisiert sind:

1. In beiden Fällen handelt es sich um zum Hauptspant symmetrische Schiffsförmungen, so daß der Ausdruck für den Wellenwiderstand durch Fortfall der unsymmetrischen Anteile I_0^2 und I_n^2 vereinfacht wird.

2. Mit den vorstehend genannten Bezeichnungen und B als der Schiffsbreite gilt für die beiden Modelle:

Modell I:

$$L/B = 10$$

$$B/T = 3$$

$$f(x, z) = \frac{B}{2} \left[1 - \left(\frac{x}{L/2} \right)^2 \right]$$

Modell II:

$$L/B = 10$$

$$B/T = 2$$

$$f(x, z) = \frac{B}{2} \left[1 - \left(\frac{x}{L/2} \right)^2 \right]$$

(eine Prinzipskizze, die für beide Modelle gilt, ist bei Abbildung 1 gezeichnet.)

Die Gleichung der Oberfläche $f(x, z)$ sagt aus, daß die Wasserlinien mit dem Tiefgang nicht veränderlich sind, d. h. die Spantflächen sind Rechtecke und somit der Völligkeitsgrad des Hauptspants $\beta = 1$. Dies ist eine Vereinfachung, die zunächst getroffen wurde, um den Rechenaufwand für diese ersten Untersuchungen herabzusetzen. Später werden sich weitere Rechnungen für verschiedene Völligkeitsgrade β anschließen müssen. Aus den angegebenen Größen sieht man, daß die beiden Modelle sich nur in dem Verhältnis B/T , bzw. L/T voneinander unterscheiden. Für Modell I ist $B/T = 3$ gewählt, für Modell II das Verhältnis $B/T = 2$.

Der Kanalquerschnitt wurde als Rechteck angenommen; für das Verhältnis der Kanaltiefe zur Kanalbreite gilt:

$$H/K = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; \text{ und } 1,0.$$

Bezüglich der Zuordnung von Schiff und Kanal wurden folgende Verhältnisse der Wassertiefe zum Tiefgang des Modells zugrunde gelegt:

$$H/T = 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12 \text{ und } 25.$$

Bei der Rechnung wurden allerdings nur diejenigen Verhältnisse H/K und H/T berücksichtigt, für welche das Verhältnis der Kanalbreite zur Modellbreite nicht kleiner als 5 wird, d. h.

$$K/B \geq 5;$$

kleinere Verhältnisse kommen praktisch nicht vor und sind daher unrealistisch.

Der Bereich der Froudeschen Zahl erstreckt sich von $F = 0,20$ bis $F = 0,70$; in einigen Fällen, d. h. für diejenigen größeren H/L -Werte, für welche die kritische Geschwindigkeit $F_h = 1$ bei Froudeschen Zahlen $> 0,70$ liegt, wurde die Rechnung bis über diesen Punkt hinaus ausgedehnt.

Die Ergebnisse

In Bild 1 bis 5 sind die Größen ζ_w für das Modell 1 als Funktionen der Froudeschen Zahl und des Parameters

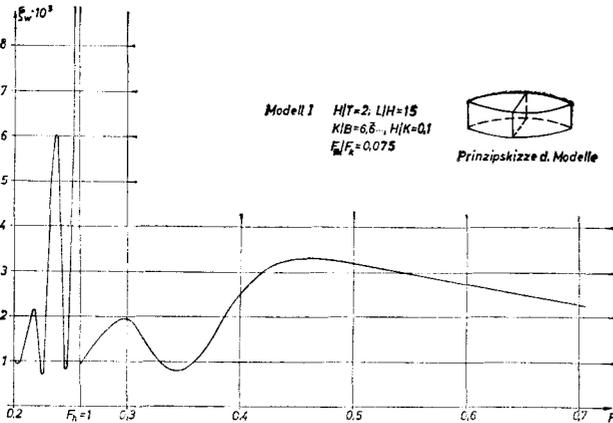


Bild 1

K/B für jeweils ein bestimmtes Verhältnis H/T , bzw. L/H dargestellt. Für einen konstanten Wert H/T ist auch die Größe L/H für ein Modell konstant.

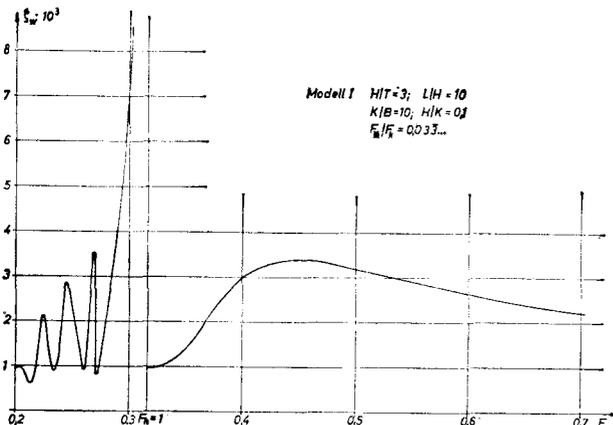


Bild 2

Die Kurven zeigen die erwartete Tendenz: Das bedeutet, daß die Erhöhungen bei den kleinsten H/T -Verhältnissen, nämlich bei $H/T = 2$ und 3 , am größten sind. Weiterhin ist zu erkennen, daß zwar der Einfluß des Verhältnisses H/T , also der Kanaltiefe, auf den Wellenwiderstand viel stärker ist als der Einfluß des Verhältnisses K/B , d. h. der Kanalbreite, daß aber auch dieser Effekt im Bereich höherer Froudescher Zahlen (etwa ab $F = 0,35$) erhebliche Ausmaße annimmt und selbst im Gebiet mittlerer Geschwindigkeiten, $0,20 \leq F \leq 0,35$ für $H/T \leq 10$ nicht vernachlässigt werden kann.

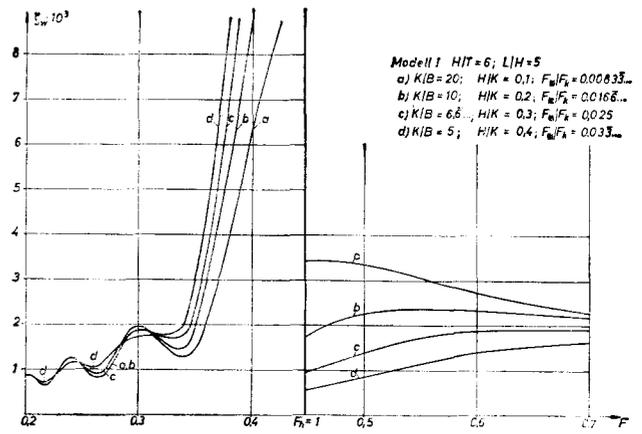


Bild 3

Wie weit die Abhängigkeit von der Form beim Wellenwiderstand im Kanal eine Rolle spielt, ist durch Vergleich der Ergebnisse für das Modell I mit den Ergebnissen von Modell II und den von Apuchtin und Woitkunki [3] ermittelten Werten ζ_w untersucht worden.

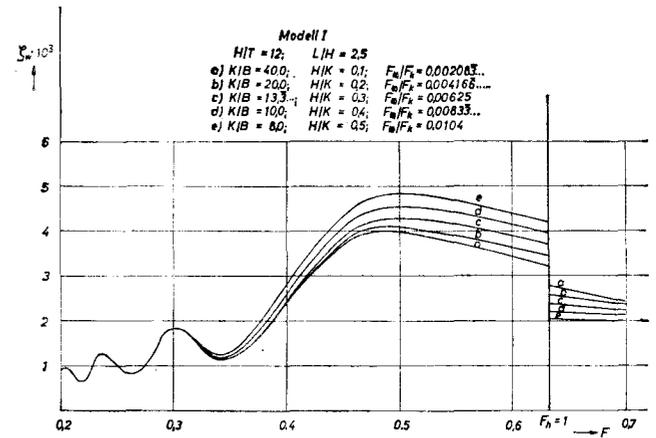


Bild 4

Es lassen sich verschiedene Vergleiche durchführen, indem man jeweils andere Parameter konstant hält. Am wichtigsten erscheint der Vergleich für konstantes L/H ; dann unterscheiden sich die Vergleichskurven zwar in dem Verhältnis H/T , aber die kritische Geschwindigkeit $F_h = 1$ liegt für sämtliche Modelle bei der gleichen Froudeschen Zahl F . Durch die Übereinstimmung der Sprungstelle im Widerstand bietet sich die beste Vergleichsmöglichkeit.

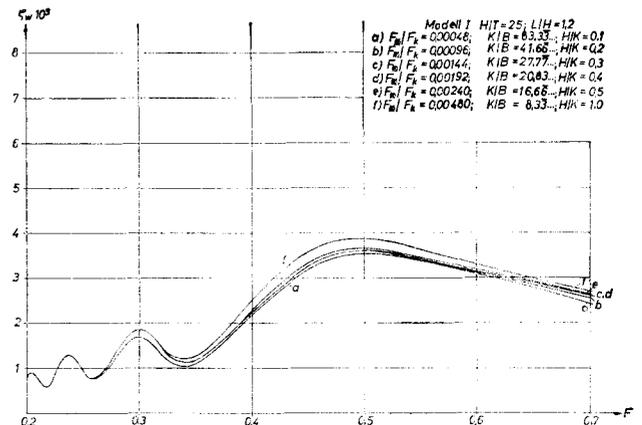


Bild 5

Für das von Apuchtin und Woitkunski [3] untersuchte Modell gelten folgende Daten:

$$L/B = 10$$

$$B/T = 3$$

$$\delta = 0,50$$

$$\beta = 0,75$$

$$\gamma = \frac{B}{2} \left[1 - \left(\frac{x}{L/2} \right)^2 \right] \left[1 - \left(\frac{Z}{T} \right)^3 \right]$$

Man sieht, daß das Verhältnis L/B das gleiche ist wie bei den beiden Modellen I und II, das Verhältnis B/T stimmt für das Modell von Apuchtin und das Modell I überein, jedoch ist die Gleichung der Oberfläche eine andere. Das Hauptspant, das bei den Modellen I und II ein Rechteck ist und die Völligkeit $\beta = 1$ hat, ist bei Apuchtin durch ein Polynom 3. Grades dargestellt, und sein Völligkeitsgrad beträgt $\beta = 0,75$. Damit ergibt sich auch ein wesentlich kleinerer Völligkeitsgrad der Verdrängung δ als bei den Modellen I und II. Es handelt sich demnach bei Apuchtin um ein erheblich schlankeres Schiff, und es ist deshalb zu erwarten, daß der Wellenwiderstand geringer ausfallen wird als bei den Modellen I und II.

Folgende Vergleiche sind durchgeführt worden:

1. $L/H = 10; K/B = 10$
Mod. I: $H/T = 3$; Mod. II: $H/T = 2$; Apuchtin: $H/T = 3$
2. $L/H = 5, K/B = 20$
Mod. I: $H/T = 6$; Mod. II: $H/T = 4$
3. $L/H = 2,5; K/B = 10$
Mod. I: $H/T = 12$; Mod. II: $H/T = 8$; Apuchtin: $H/T = 12$

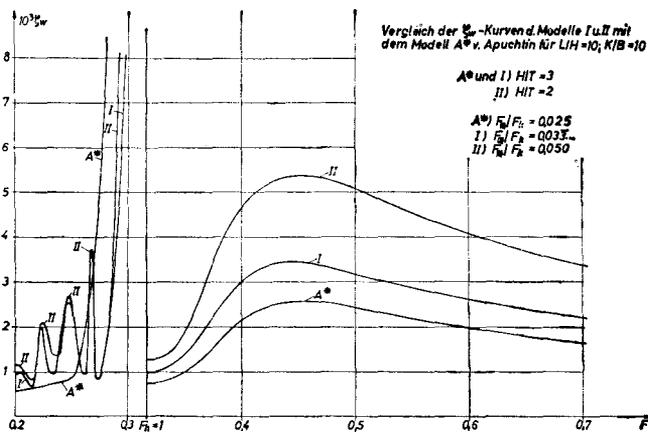


Bild 6

In Bild 6 bis 8 sind die Kurven der genannten Modelle miteinander verglichen. Die Annahme, daß das schlankere Modell von Apuchtin einen geringeren Wellenwiderstand aufweist als die völligeren Modelle I und II, findet sich vollauf bestätigt.

Verwunderlich erscheint auf den ersten Blick auch das Ergebnis, daß das Modell II mit dem Verhältnis $B/T = 2$ in allen Fällen einen größeren Wellenwiderstand aufweist als das Modell I mit dem Verhältnis $B/T = 3$. Diese scheinbare Unstimmigkeit gegenüber den sonstigen Erkenntnissen, daß das Verhältnis $B/T = 2$ widerstands-

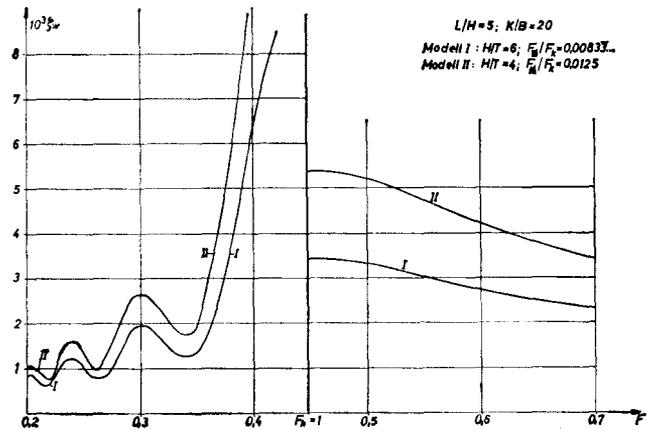


Bild 7

mäßig das günstigste Verhältnis ist, ergibt sich aus der Art des Vergleichs, für welchen in Anbetracht des Kanaleinflusses, um für die verschiedenen Modelle die Sprungstelle bei der gleichen Froudeschen Zahl zu haben, das Verhältnis L/H konstant gehalten wurde; das bedeutet aber, daß zwar auch das Verhältnis K/B der Modelle in dem jeweils betrachteten Fall übereinstimmt, die Modelle also im gleichen Kanal die gleiche Länge und Breite haben, nicht aber die gleichen Tiefgänge. Wegen des Verhältnisses $B/T = 2$ wird das Modell II einen größeren Tiefgang haben als das Modell I mit $B/T = 3$. Das Modell II besitzt also größere Spantquerschnitte als das Modell I und somit eine größere Verdrängung. (Eine Prinzipskizze bei Bild 8 zeigt den Sachverhalt anschaulich.) Diese Tatsache der größeren Verdrängung des Modells II bleibt auch für unbegrenzte Flüssigkeit bestehen; es ergibt sich also auch in unbegrenzter Flüssigkeit für Modell II ein höherer Wellenwiderstand als für Modell I; der entsprechende Vergleich ist in Bild 9 durchgeführt.

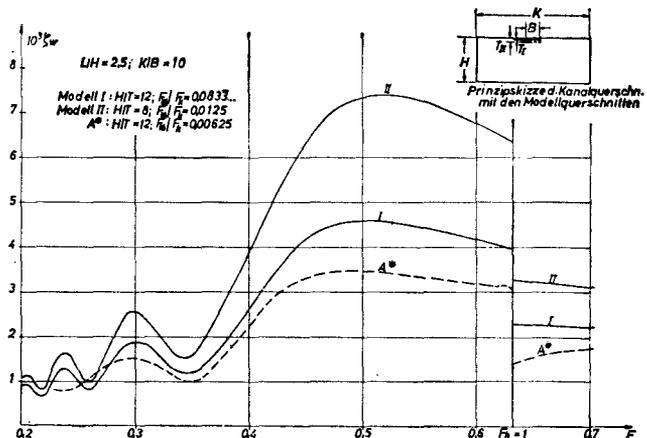


Bild 8

Die in Bild 9 dargestellten Wellenwiderstandswerte für unbegrenzte Flüssigkeit sind aus dem Michellschen Widerstandsintegral [4] nach der von Weinblum begründeten Methode [5] mit Hilfe der \mathfrak{M}_{ij} -Funktionen berechnet worden.

Ihre Berechnung erfolgte zu dem Zweck, festzustellen, wie weit sich die ζ_w -Kurven für die verschiedenen H/T - und K/B -Verhältnisse von den Werten in unbegrenzter Flüssigkeit unterscheiden.

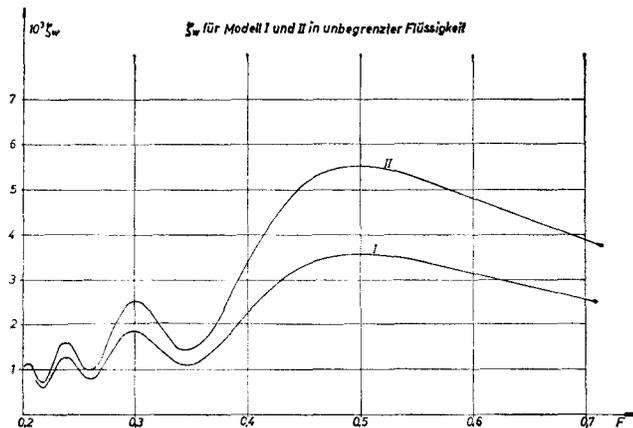


Bild 9

Eine feste Grenze, wie bei Untersuchungen des Reibungswiderstandes im Kanal oder Flachwasser, läßt sich zwar nicht angeben, da diese Grenze nicht nur von den Verhältnissen H/T und K/B abhängt, sondern auch eine Funktion der Froudeschen Zahl ist, aber man kann doch gewisse Abschätzungen vornehmen. So kann man an Hand der vorliegenden Ergebnisse wohl sagen, daß für Verhältnisse $H/T \geq 25$ und $H/K \leq 0,5$ keine Beeinflussung des Wellenwiderstandes durch den Kanal mehr vorliegt, ganz gleich, um welche Geschwindigkeit es sich handelt. Für $H/T = 12$ kann der Einfluß des Kanals auf den Wellenwiderstand für kleine und mittlere Geschwin-

digkeiten ($F \leq 0,34$) vernachlässigt werden. Entsprechende Aussagen lassen sich auch für die anderen H/T -Verhältnisse machen, wobei aber auch der Formeinfluß eine beträchtliche Rolle spielt. Es würde zu weit führen, an dieser Stelle im einzelnen darauf einzugehen.

Schlußsatz

Zum Schluß möchte ich Herrn cand. arch. nav. Wittkopp danken, der einen großen Teil der Rechnungen auf der IBM 650 durchgeführt hat. Dank gebührt auch der Deutschen Forschungsgemeinschaft, durch welche uns die Benutzung der IBM 650 ermöglicht ist.

Schrifttum

- [1] Sretenski, L. N.: Theoretische Untersuchung des Wellenwiderstandes. Moskau 1937 (Trudi Zentraln. Aero-Gidrodyn. Inst. im Prof. N. E. Joukowsko 319 [Russisch])
- [2] Wigley, W. C. S.: L'état actuel des calculs de résistance de vagues. (Bulletin des l'Association technique maritime et aéronautique. 48, S. 533–587, 1949)
- [3] Apuchtin, P. A., und J. I. Woitkunski: Der Widerstand des Wassers bei der Bewegung von Schiffen. 7. Kapitel: Widerstand bei Bewegung in begrenztem Fahrwasser. Moskau, Leningrad 1953 [Russisch]
- [4] Michell, J. H.: The Wave Resistance of a Ship. Philosophical Magazine, London 45, S. 106–123, 1898)
- [5] Weinblum, G.: Ein Verfahren zur Auswertung des Wellenwiderstandes vereinfachter Schiffsförmigkeiten. (Schiffstechnik 3, 16, S. 278–287, 1956)
- [6] Eggers, K.: Über die Widerstandsverhältnisse von Zweikörperschiffen. (Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 49, S. 516–539, 1955)

Diskussion

Prof. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. G. Weinblum:

Ich glaube, es wäre gut, zunächst auf den Zweck der Untersuchungen von Frau Dr. Kirsch hinzuweisen, um eine Erhitzung der Gemüter zu vermeiden, die zwar sehr produktiv sein kann, aber vielleicht nicht notwendig ist. Der Zweck dieser Arbeit besteht nicht darin, Angaben über den Einfluß des Flachwassers im engeren Sinne, z. B. bei Flußschiffen, zu machen, sondern vielmehr darin, festzustellen, wie weit man auf Grund der linearisierten Theorie zu Korrekturfaktoren bei einigermaßen normalen Verhältnissen von Tankabmessungen (Breite zu Tiefe) gelangen kann, analog den Korrekturen für Windkanäle, wobei dann auch gewisse Flachwassererscheinungen berücksichtigt sind. Ich glaube, diese Untersuchung ist recht nützlich, wenn man weiß, innerhalb welcher Grenzen man diese Theorie anwenden darf. Frau Dr. Kirsch hat ja auch darauf hingewiesen, daß der „blockage-coefficient“, d. h. das Verhältnis der Hauptspantfläche zum Kanalquerschnitt nicht zu groß und die Wassertiefe im Verhältnis zur Modelllänge nicht zu klein werden darf. Einer der Anlässe für diese Arbeit war die bekannte Untersuchung unserer holländischen Schwesteranstalt über die Victory-Schiffe, bei der die Herren dort sehr hübsche Modellversuche gemacht haben mit parallel geschleppten Modellen in Unkenntnis dieser theoretischen Lösungen. Die zu erwartenden Effekte waren allerdings sehr klein.

Ich glaube, Frau Dr. Kirsch hatte nicht den Ehrgeiz, in das Problem der Flachwassererscheinungen, das von Herrn Dr. Graff und Herrn Kollegen Schuster behandelt wird, einzudringen.

Beispielsweise ist folgendes interessant: Schnellboote werden häufig im überkritischen Bereich, d. h. für $F_h > 1$, in normalen Schlepprinnen untersucht. Diese Tatsache hat früher Sorgen bereitet. Ich habe schon damals versucht, diese Sorgen zu reduzieren. Die Kurven, die Frau Dr. Kirsch berechnet hat, zeigen erneut, daß die Natur in diesem Falle einigermaßen gütig ist. Ein Fehler steckt im Verfahren, aber seine Größenordnung ist so, daß das Ergebnis dadurch nicht verpfuscht wird.

Dr.-Ing. W. Graff:

Der Vortrag von Frau Dr. Kirsch interessierte mich besonders, da das Thema die Fragen stark berührt, die mich bei einigen meiner Forschungsarbeiten beschäftigten. Durch Lunde und Inui ist zuletzt darauf hingewiesen worden, daß im überkritischen Bereich der auf die Querwellen zurückzuführende Anteil des Wellenwiderstandes verschwindet und nur noch der den Diagonalwellen zugeordnete Teil bei entsprechender Änderung des Wellenwinkels bestehen bleibt. Ich halte diese Betrachtungsweise für sehr fruchtbar, und es würde mich interessieren, ob das verwendete Verfahren eine Trennung dieser Anteile gestattet.

Ich würde bei der Darstellung der Ergebnisse auch den Parameter $L:H$ bevorzugen. Es ist bezeichnend für die charakteristische Größe

$$\frac{F_h}{F_L} = \sqrt{\frac{L}{H}}$$

und dürfte bei der Einordnung von Flachwasserersuchen eine der wesentlichsten Kenngrößen sein.