

167 | Juli 1966

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

A. Kracht

**Widerstand, Propulsion, Bewegung
und Beanspruchung schneller
Verdrängungsfahrzeuge in glattem
Wasser und in regelmäßigem Seegang**

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Widerstand, Propulsion, Bewegung und Beanspruchung schneller Verdrängungsfahrzeuge in glattem Wasser und in regelmäßigem Seegang

Bericht zu dem Forschungsvorhaben T01-308-I-205

Auftraggeber: Bundesministerium der Verteidigung, BONN

**Bearbeiter
Dipl.-Ing. A. Kracht**

**Leiter der Forschungsaufgabe
Prof. Dr.-Ing. O. Grim**

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

IfS - Bericht Nr. 167

Widerstand, Propulsion, Bewegung und Beanspruchung
schneller Verdrängungsfahrzeuge in glattem Wasser
und in regelmäßigem Seegang

Bericht zu dem Forschungsvorhaben T01-308-I-205

Hamburg, Juli 1966

**Widerstand, Propulsion, Bewegung und Beanspruchung
schneller Verdrängungsfahrzeuge in glattem Wasser
und in regelmäßigem Seegang**

Bericht zu dem Forschungsvorhaben T 01 - 308 - I - 205

**Auftraggeber: Bundesministerium der Verteidigung
Bonn**

**Bearbeiter
Dipl.-Ing. A. Kracht**

**Leiter der Forschungsaufgabe
Prof. Dr.-Ing. O. Grim**

1. Einleitung
2. Auswahl der Grundformen
 - 2.1. Koordinatensysteme und Hauptparameter der Modellformen
 - 2.2. Variationsmöglichkeiten und ihre Durchführung
 - 2.2.1. Quasi geometrisch ähnliche Verzerrung der Grundform (C_V - und B/T-Variation)
 - 2.2.2. Veränderung der Spantarealkurve (φ -Variation)
 - 2.2.3. Veränderung des Tiefganges
 - 2.3. Variationsschema der B- und C-Serie
 - 2.3.1. Variationsschema der B-Serie
 - 2.3.2. Sondermodelle der B-Serie
 - 2.3.3. Variationsschema der C-Serie
 - 2.3.4. Sondermodelle der C-Serie
 - 2.3.5. Hinterschiffsvariation des Modells C5
 - 2.3.6. Bugwulstvariation des Modells C1
3. Modelleexperimente im glatten Wasser
 - 3.1. Zu messende Größen und Meßmethoden
 - 3.2. Widerstandsversuche und deren Auswertung
 - 3.2.1. Experimente mit den systematisch variierten Modellen
 - 3.2.2. Experimente mit den Sondermodellen
 - 3.2.3. Experimente mit der Hinterschiffsvariation
 - 3.2.4. Experimente mit den Bugwulstvariationen
 - 3.2.5. Vergleich der Widerstandskurven verschiedener Formen
 - 3.3. Propulsionsversuche und deren Auswertung
 - 3.3.1. Widerstandsversuch mit Anhängen
 - 3.3.2. Propulsionsversuch
4. Modellversuch im regelmäßigen Seegang
 - 4.1. Zu messende Größen und Meßmethoden
 - 4.2. Widerstandsversuche und deren Auswertung
 - 4.3. Propulsionsversuche und deren Auswertung

5. Bewegung eines 120-m-Schiffes im unregelmäßigen Seegang
6. Rollversuche
 - 6.1. Durchführung der Rollversuche
 - 6.2. Ergebnisse
7. Slammingversuche
8. Literaturverzeichnis
9. Zusammenstellung der Figuren, Diagramme, Tabellen und Abbildungen
 - 9.1. Zusammenstellung der Figuren
 - 9.2. Zusammenstellung der Diagramme des Widerstandes
 - 9.3. Zusammenstellung der Diagramme der parallelen Tiefertauchung und des Trimmwinkels
 - 9.4. Zusammenstellung der Diagramme der Bewegungsamplituden der Modelle der Serie C in regelmäßigem Seegang
 - 9.5. Zusammenstellung der Diagramme der Widerstandszunahme in regelmäßigem Seegang und des gerechneten Biegemomentes
 - 9.6. Zusammenstellung der Diagramme über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Bewegungen und Momente der Großausführung der Serie C in unregelmäßigem Seegang des Nordatlantik
 - 9.7. Zusammenstellung der Diagramme der Propulsionsversuche in regelmäßigem Seegang
 - 9.8. Zusammenstellung der Diagramme der Rollversuche
 - 9.9. Zusammenstellung der Tabellen
 - 9.10. Zusammenstellung der Abbildungen

1. Einleitung

Mit diesem Bericht wird ein umfangreiches Forschungsvorhaben beendet, das sich mit der Untersuchung schneller Verdrängungsfahrzeuge befaßte. Durch die Ausdehnung des Geschwindigkeitsbereiches bis $Fr=0,7$ und die Erweiterung des B/T-Verhältnisses auf 4.5 können der Praxis Daten in die Hand gegeben werden, die eine bestehende Lücke in den Konstruktionsunterlagen zum großen Teil schließen.

Das Forschungsprogramm mit der Bezeichnung T01-308-I-205 ist die konsequente Fortsetzung des Vorhabens 529/58. Beide Vorhaben bilden zusammen ein einheitliches ganzes Programm, das sich etwa über einen Zeitraum von 8 Jahren erstreckte. Während sich das Vorhaben 529/58 vorwiegend mit der Erweiterung der klassischen Versuchsreihen von D.W. Taylor mit Kreuzerheckformen befaßte, bezieht sich das Vorhaben T01-308-I-205 in einer analogen Weise auf Spiegelheckformen.

Während sich das Vorhaben 529/58 auf die Untersuchung der Formen nur im glatten Wasser beschränkte, werden in dem folgenden Vorhaben T01-308-I-205 auch das Widerstands- und Bewegungsverhalten der Modelle im regelmäßigem Seegang untersucht.

Die vorbereitenden und koordinierenden Arbeiten, sowie die Auswertung des gesamten Ergebnismaterials wurde vom Institut für Schiffbau der Universität Hamburg übernommen, während die Ausführung der Experimente von der Hamburgischen Schiffbauversuchsanstalt durchgeführt worden ist.

2. Auswahl der Grundform

Für die Klärung des Einflusses von bestimmten Hauptparametern eines Schiffes auf dessen Widerstands- und Bewegungsverhalten in ruhigem und bewegtem Wasser erscheint es als selbstverständlich, daß die Auswahl der Grundform einer systematisch variierten Modellfamilie sorgfältig ausgeführt werden sollte.

Für die vorliegende Forschungsaufgabe war die Wahl der Grundform allerdings nicht so schwierig, da von Seiten des Bundesministeriums der Verteidigung und der Stülkenwerft als Prototyp der Modellserie, die in Anlehnung an die Serie A und B des vorausgegangenen Forschungsvorhabens 529/58 die Bezeichnung Serie C bekommen hat, der Zerstörer der Länderklasse der Bundesmarine genommen werden sollte. Die aus diesem Zerstörertyp, dessen Linienriß dem Institut für Schiffbau zur Verfügung gestellt worden war, abgeleitete Form ergab das Grundmodell C1 der Modellserie C mit den Hauptkenn-

$L = 6.0000 \text{ m}$	$\varphi = 0.6449$
$B = 0.6030 \text{ m}$	$\beta = 0.7832$
$T = 0.2010 \text{ m}$	$C_{\Psi} = 0.0017$
$\Psi = 0.3672 \text{ m}^3$	$B/T = 3.0000$
$S = 3.9945 \text{ m}^2$	$X_{\Psi}/L = -0.0145$

Darüber hinaus existierte aus dem oben genannten Vorhaben 529/58 noch eine kleine Variation des Zerstörertyps Z 36, die Modellserie B, deren Grundform B1 die Hauptdaten

$L = 6.0000 \text{ m}$	$\varphi = 0.6200$
$B = 0.5964 \text{ m}$	$\beta = 0.8320$
$T = 0.1988 \text{ m}$	$C_{\Psi} = 0.0017$
$\Psi = 0.3672 \text{ m}^3$	$B/T = 3.0000$
$S = 3.9670 \text{ m}^2$	$X_{\Psi}/L = -0.0117$

hat und die einen beschränkten Vergleich zweier Spiegelheckformen zuläßt.

Als zu variierende Hauptparameter wurden in Anlehnung an Gertler (2) und an die Modellserie A des Vorhabens 529/58 die Parameter φ , B/T und C_V ausgewählt, deren obere und untere Grenze mit den Forderungen der Praxis abgestimmt worden sind. Beide Modellserien (B- und C-Serie) haben eine sekundäre Erweiterung erfahren, indem fast jedes Modell auf zwei Nebentirfgängen untersucht worden ist, deren Verdrängungen sich um 15% von der CWL-Verdrängung unterscheiden.

Da für die drei Hauptparameter innerhalb des gesamten Vorhabens die gleichen Variationen gewählt worden sind, ist ein Vergleich von Kreuzer- und Spiegelheckform direkt möglich.

2.1. Koordinatensystem und Hauptparameter der Modellformen

Für die Darstellung der Modellformen wird das Koordinatensystem der Fig. 1 benutzt. Die dimensionslosen Koordinaten ergeben sich aus den folgenden Beziehungen

$$\xi = \frac{x}{L/2} \quad , \quad \eta = \frac{y}{B/2} \quad \text{und} \quad \zeta = \frac{z}{T}$$

Die Konstruktionswasserlinie liegt bei $\zeta=z=0$ (CWL) und das Hauptspant bei $\xi = x = 0$.

Die linearen Hauptdimensionen sind

L die Länge zwischen den Loten, die für alle Modelle konstant ist,

B die Breite des Hauptspantes in der CWL

$T=T_2$ der Tiefgang im Hauptspant in der Mittellängsebene, der bis zur Basis gemessen wird,

$H=2T_2$ die Seietenhöhe des Modells im Hauptspant.

Alle dimensionslosen Größen sind in geeigneter Weise auf diese drei Hauptdimensionen - L, B, T - bezogen worden.

Als zu variierende Hauptparameter gelten

$$= \frac{V_{CWL}}{L \cdot B \cdot T \cdot B} \quad , \quad C_V = \frac{V_{CWL}}{L^3} \quad \text{und} \quad B/T \quad .$$

Als Nebenparameter erscheint das Verhältnis der Verdrängung

zur CWL-Verdrängung

$$\frac{\Psi(T_v)}{\Psi(T_2)} \quad (v = 1, 2, 3,)$$

Die dimensionslosen Größen der Nebentiefgänge T_v sind auf die linearen Hauptdimensionen dieser Tiefgänge bezogen.

Es ist

$$\Psi_{CWL} = \Psi(T_2).$$

Da die Oberfläche von Schiffen im allgemeinen schlecht abgeschätzt werden kann, soll dafür an dieser Stelle eine Näherungsformel von Schneekluth angegeben werden, die für moderne Kriegsschiffe brauchbare Werte liefert.

$$S = L \cdot T \cdot (1,8 + \delta \cdot B/T)$$

Der maximale Fehler dieser Formel liegt etwa zwischen $\pm 2\%$.

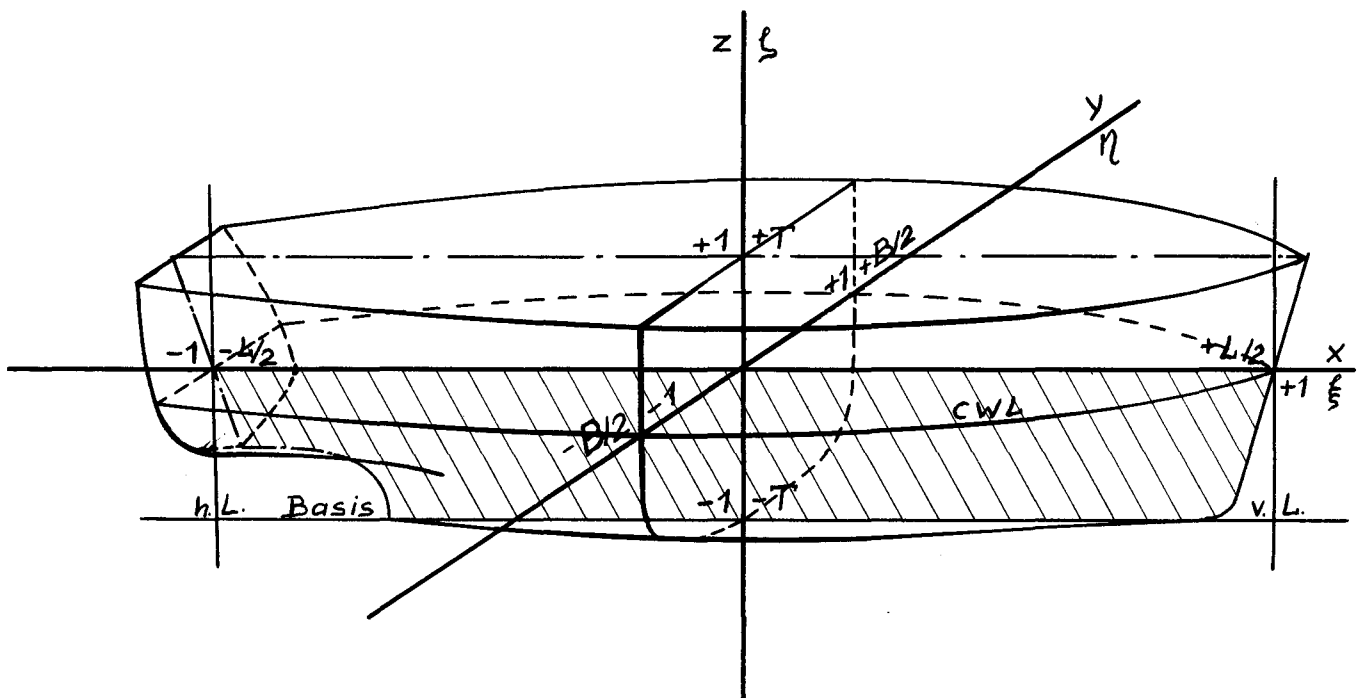


Fig. 1 Koordinatensystem

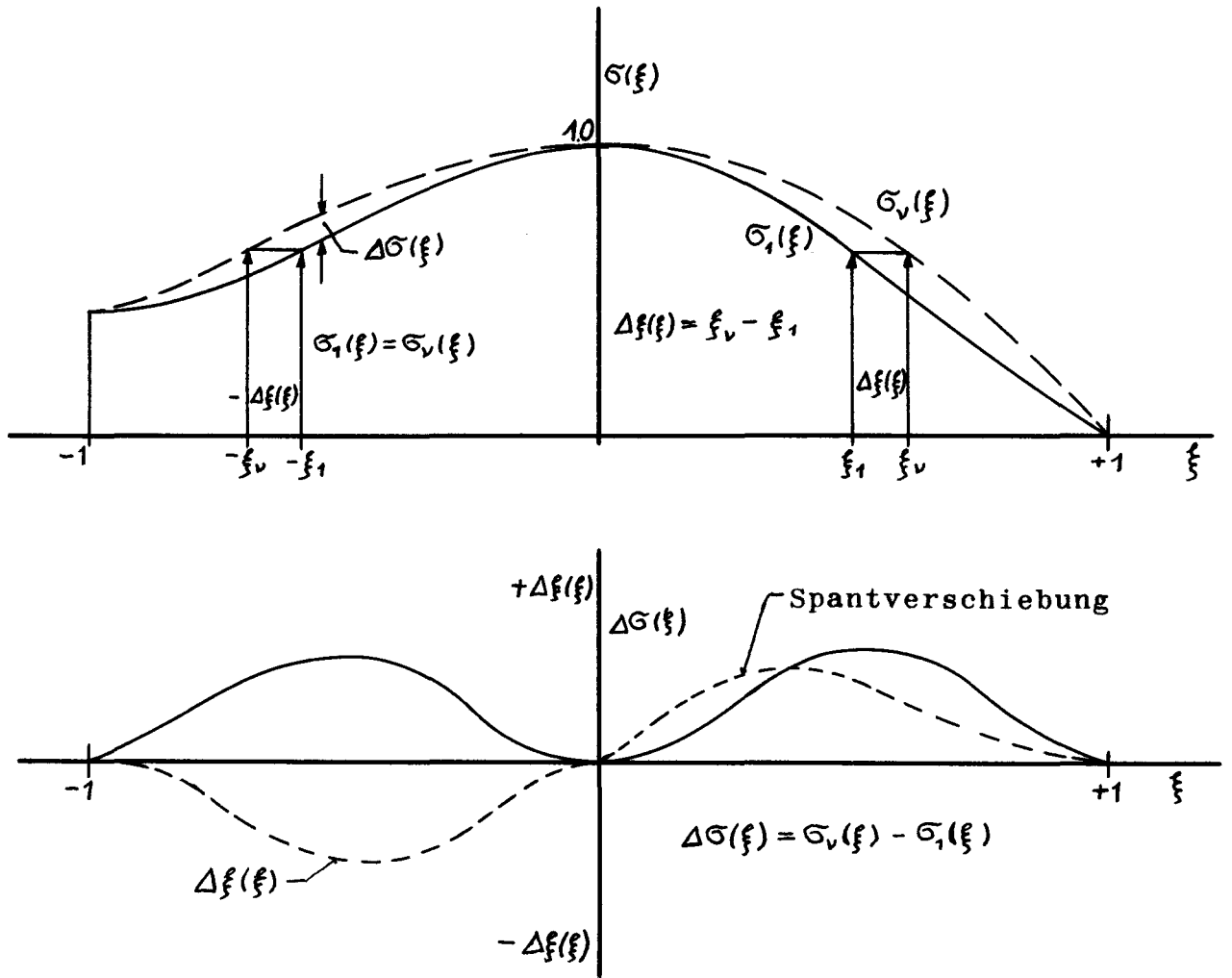


Fig. 2 Prinzipskizze der Variation der Spantarealkurve

2.2. Variationsmöglichkeiten und ihre Durchführung

Werden nur die drei Hauptparameter φ , C_V und B/T variiert, dann ergibt sich die Anzahl der verschiedenen Varianten einfach als Produkt $n \cdot m \cdot p$, wenn

- n die Anzahl der verschiedenen φ -Werte
- m die Anzahl der verschiedenen C_V -Werte
- und p die Anzahl der verschiedenen B/T -Werte

darstellt. Dabei werden die folgenden Größen:

die Modelllänge L
der Verdrängungsschwerpunkt und
die Hauptspantvölligkeit β

konstant gehalten.

2.2.1. Quasi geometrisch ähnliche Verzerrung der Grundform (C_{Ψ} - oder B/T-Variation)

Bleibt der Parameter φ konstant -, der Völligkeitesgrad α der CWL ändert sich ebenfalls nicht -, dann lassen sich aus einem gegebenen Modell (Index 1) beliebige in der Breiten- und Tiefendimension geometrisch ähnliche Formen (Index v) ableiten, wenn die Aufmaße des Modells 1 mit den Faktoren

$$K_z = T_v/T_1 = (L/T)_1 \cdot \sqrt{C_{\Psi v} / (B/T)_v \cdot \varphi \cdot \beta}$$

(Höhenmaßstab)

und

$$K_y = B_v/B_1 = (L/B)_1 \cdot \sqrt{C_{\Psi v} \cdot (B/T)_v / (\varphi \beta)}$$

(Breitenmaßstab)

multipliziert werden. Die Längskonturen der Varianten sind einander gleich. Es versteht sich hierbei von selbst, daß alle dimensionslosen Größen der Hauptkenndaten konstant bleiben, mit Ausnahme des L/B

1. B/T-Variation: Sind die beiden Parameter

$$\varphi = \text{const} \quad \text{und}$$

$$C_{\Psi} = \text{const},$$

dann ergibt sich für die Maßstäbe K_z und

K_y der B/T-Variation

$$K_z \neq K_y$$

Daraus folgt, daß sich die Oberflächen S_v der Varianten nicht aus der Oberfläche S_1 ableiten lassen.

2. C_{Ψ} -Variation: Sind die beiden Parameter

$$\varphi = \text{const} \quad \text{und}$$

$$B/T = \text{const},$$

dann folgt unmittelbar aus den Formeln für K_z und K_y

$$K_z = K_y.$$

Daraus folgt, daß sich die Oberflächen S_v der Varianten nach der Formel

$$S_v = K_z \cdot S_1$$

aus der Oberfläche S_1 des Grundmodells errechnen lassen.

2.2.2. Veränderung der Spantarealkurve (φ -Variation)

Aus der Beziehung

$$\varphi = \frac{1}{2} \int_{-1}^{+1} \sigma(\xi) \, d\xi$$

folgt, daß die φ -Variation mit einer Änderung der Spantarealkurve $\sigma(\xi)$ der Ausgangsform verbunden ist. Im allgemeinen erreicht man eine Änderung der Spantarealkurve, indem man eine Zusatzfunktion $\Delta\sigma(\xi)$ addiert, die entsprechend den Forderungen verschiedene Bedingungen erfüllen muß. Soll die Zusatzfunktion φ um $\Delta\varphi$ vergrößern, dann muß $\Delta\sigma(\xi)$ den folgenden Bedingungen genügen, die gleichzeitig als Bestimmungsgleichungen für die willkürlichen Konstanten zu benutzen sind:

1.

$$\Delta\varphi = \frac{1}{2} \int_{-1}^{+1} \Delta\sigma(\xi) \cdot d\xi$$

2. der Schwerpunkt der Verdrängung $X_v/L = \xi_v$ soll unverändert bleiben

$$0 = \int_{-1}^{+1} (\xi - \xi_v) \cdot \Delta\sigma(\xi) \cdot d\xi$$

3. die Spantflächen bei $\xi = \pm 1$ und $\xi = 0$ sollen

sich nicht ändern

$$\Delta\sigma(\xi) = 0 \quad \text{für } \xi = \pm 1 \quad \text{und } \xi = 0$$

4. die Tangentensteigungen in den Punkten $\xi = \pm 1$ und $\xi = 0$ sollen sich ebenfalls nicht ändern

$$\frac{d}{d\xi} \{ \Delta\sigma(\xi) \} = 0 \quad \text{für } \xi = \pm 1 \quad \text{und } \xi = 0$$

Ist $\Delta\sigma(\xi)$ bekannt, dann läßt sich nach einem Verschiebungsplan der neue Linienriß aus der Ausgangsform ableiten. In Fig. 2 ist die Spantverschiebung demonstriert. Das Prinzip ist sehr einfach: Das Spant ξ_1 des Ausgangslinienrisses wird an die Stelle ξ_v des neuen Risses verschoben. Die Spantform $\eta(\xi_1)$ bleibt dabei unverändert, d.h.

$$\eta(\xi_1) = \eta(\xi_v) .$$

Da für die φ -Variation

$$B/T = \text{const} \quad \text{und}$$

$$C_{\varphi} = \text{const}$$

sein sollen, ändern sich auch die Aufmaße der Grundform. Als Umrechnungsfaktoren ergeben sich

$$K_z = K_y = \sqrt{\varphi_1 / \varphi_v}$$

Der Völligkeitsgrad α der Wasserlinien (CWL) ändert sich mit der Veränderung von φ , ebenso deren Flächenschwerpunkte $X_{WL}/L = \xi_{WL}$.

2.2.3. Veränderung des Tiefganges

Alle Modelle der Serie C sind auf zwei weiteren Tiefgängen geschleppt worden. Dadurch ist die Modellserie sekundär erweitert worden. Die beiden Nebentiefgänge T_1 und T_3 ergeben sich aus den Kurvenblattwerten, denn das Verhältnis der Verdrängungen ist

$$\text{für } T_1 \quad \frac{\Psi(T_1)}{\Psi(T_2)} = 0.85$$

$$\text{und für } T_3 \quad \frac{\Psi(T_3)}{\Psi(T_2)} = 1.15$$

$\Psi (T_2) = \Psi_{CWL}$ ist Konstruktionsverdrängung.

2.3. Variationsschemata der B- und C-Serie

Die Hauptkenndaten aller gebauten Modelle der beiden Serien sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefaßt. Die Schemata beziehen sich auf den CWL-Tiefgang T_2 .

2.3.1. Variationsschema der B-Serie

Da die Modellserie B nur eine Vorstudie der Hauptserie, der Modellserie C, war, genügte eine kleinere Variation. Die Form der Serie B ist aus dem Zerstörerotyp Z36 des 2. Weltkrieges hervorgegangen.

Als Ausgangsmodell dient das Modell B5, daß durch φ -Variation nach Fig.2 aus dem Modell B1 abgeleitet worden ist. Die drei Hauptparameter φ , C_{Ψ} , und B/T haben die folgenden konkreten Werte:

1. φ_h : 0.64, 0.68, 0.72 ($\Delta\varphi_h = 0.04$)
 φ_v : 0.64 ($\Delta\varphi_v = 0$)
 φ : 0.64, 0.66, 0.68 ($\Delta\varphi = 0.02$)
2. B/T : 3.00, 3.75
3. C_{Ψ} : $1.7 \cdot 10^{-3}$

Das folgende Schema zeigt die insgesamt 6 Varianten, wovon allerdings nur vier, und zwar die mit ihren Modellbezeichnungen gekennzeichneten, ausgeführt worden sind.

φ_h	B/T	C'_V		φ_b	B/T	C'_V	
0.64	3.00	1.70	B5	0.64	3.75	1.70	B13
0.68	3.00	1.70	B11	0.68	3.75	1.70	
0.72	3.00	1.70	B12	0.72	3.75	1.70	

Konstanten: Modelllänge $L = 6,000$ m
 $\beta = 0.832$
 $\varphi_v = 0.640$

$$C'_V = C_V \cdot 10^3$$

Fig. 5 zeigt den dimensionslosen Spantenriß des Grundmodells B5 dieser Serie und Diagramm 1 die Spantarealkurven aller Varianten, deren Werte noch einmal in der Tabelle 3 zusammengefaßt sind. Fig. 6 zeigt die entsprechenden Vor- und Hinterschiffskonturen. Die Tabellen 20 bis 22 enthalten die Aufmaßtabellen, während die Hauptkenndaten in der Tabelle 2 zusammengefaßt sind.

2.3.2. Sondermodelle der B-Serie

Außer den systematisch variierten Modellen existieren noch einige Sondermodelle, deren Spantarealkurven in Tabelle 3 und deren Hauptkenndaten in Tabelle 2 zu finden sind.

1. Modell B1: Ist das Modell des Zerstörers Z36, dessen größte Breite zwischen den Spanten 9 und 10 liegt. Die Aufmaße sind in der Tabelle 18 zu finden.
2. Modell B3: Ist durch φ -Variation nach Fig.2 aus dem Modell B1 hervorgegangen. Die größte Breite ist dabei nach Spant 10 ($\xi = 0$) verschoben worden. Mit $\varphi_h = \varphi_v = 0.62$ ist das Modell B3 eine φ -Variante des Modells B5 mit $\varphi_h = \varphi_v = 0.64$, bei konstantem B/T und C_v . Die Aufmaßtabelle ist Tabelle 19.
3. Modell B6: Das Modell B6 hat eine nach der linearen Theorie des Wellenwiderstandes für $Fr=0.5$ ermittelte optimale Verdrängungsverteilung der Länge nach, wie aus Tabelle 3 zu ersehen ist. Da die Ergebnisse der Schleppversuche wenig erfolgreich gewesen sind, ist auf eine Wiedergabe der Aufmaße verzichtet worden.
4. Modell B7: Das Modell B7 ist mit dem Modell B5 bis auf einen kleinen Bugwulst der Form (10,1000) (siehe Weinblum [10]) identisch. Der Bugwulst vergrößert φ um

$$\Delta\varphi = 0.0014$$

bzw. das Volumen um

$$\Delta V = 0.000816 \text{ m}^3$$

Auf die Darstellung der veränderten Spanten und der Spantflächenkurve des Bugwulstes ist verzichtet worden

5. Modell B8: Das Modell B8 stimmt mit dem Modell B5 im Vorschiff überein, während das Hinterschiff in Anlehnung an die Taylormodelle der Serie A als Kreuzerheck ausgebildet worden ist. Die Spantarealkurve (s. Tabelle 3 und Diagr.1) ist derjenigen des Modells A3 proportional. Fig.5 zeigt den Spantenriß und Tabelle 23 die Aufmaße des Modells B8. Da dieses Modell stets zu Vergleichszwecken zwischen Spiegel- und Kreuzerheckform herangezogen worden ist, wurde es aus Araldit gefertigt.
6. Modell B10: Dieses Modell hat ähnlich wie das Modell B6 eine Verdrängungsverteilung der Länge nach, die ebenfalls nach der linearen Theorie des Wellenwiderstandes ermittelt worden ist. Die Spantarealkurve zeigen Diagramm 1 und Tabelle 3, während der Spantenriß in Fig.5 eingezeichnet ist, und die Aufmaße in Tabelle 24 zu finden sind. Erzeugt wurde die Spantarealkurve nach der Gleichung

$$\eta(\xi)_{10} = 0.7 \cdot \eta(\xi)_5 + 0.3 \cdot \eta(\xi)_{opt} .$$

Dabei ist $\eta(\xi)_5$ die Spantarealkurve des Modells B5 und $\eta(\xi)_{opt}$ die optimale Spantflächenkurve eines Rotationskörpers, der bei $Fr=0.5$ einen minimalen lineartheoretischen Wellenwiderstand hat.

2.3.3. Variationsschema der C-Serie

Als Ausgangsmodell der C-Serie dient das Modell C1, das direkt aus dem Stülkenzerstörer durch Veränderung von B/T und C_v abgeleitet worden ist. Aus diesem Grunde ist auch

$\varphi = 0.6449$. Wegen der Bedeutung dieses Modells für Vergleichszwecke ist es ebenfalls aus Araldit hergestellt worden. Nach Rücksprache mit der Stülkenwerft und Vertretern der Bundesmarine wurde jedoch das Modell C5 als Grundmodell der systematischen Variation der C-Serie ausgewählt. Als geeignete Größen für die drei Hauptparameter φ , C_V und B/T werden die folgenden Werte festgelegt:

1. $\varphi = 0.62, 0.6449, 0.66, 0.68, 0.70$ ($\Delta\varphi = 0.02$)
2. $B/T = 3.00, 3.75, 4.50$ und
3. $C_V = 1.5 \cdot 10^{-3}, 1.7 \cdot 10^{-3}, 2.0 \cdot 10^{-3}, 2.5 \cdot 10^{-3}$.

Insgesamt ergeben sich dafür 60 verschiedene Varianten, wie das Variationsschema zeigt, in dem wieder die gebauten Modelle mit ihrer Modellbezeichnung gekennzeichnet sind.

Fig.4 zeigt den dimensionslosen Spantenriß der systematisch variierten C-Modelle, aus dem sich nach Fig.2 die φ -Varianten ableiten lassen. Die Vor- und Hinterschiffskonturen zeigt Fig.6. Die Spantarealkurven sind in graphischer Darstellung im Diagramm 2 und tabellarisch in der Tabelle 3 zu finden. Die Aufmaße und Ergebnisse der Kurzkurvenblattrechnung enthalten die Tabellen 6 und 10 bis 13, während die Hauptkenndaten in der Tabelle 1 zusammengefaßt sind.

φ -Variation der C-Serie:

Die φ -Variation der C-Serie muß etwas eingehender behandelt werden. Wie in Abschnitt 2.2.2. geschildert worden ist, kann die Spantarealkurve $\sigma_0(\xi) = \sigma_5(\xi)$ durch Addition einer Zusatzkurve $\Delta\sigma_\varphi(\xi)$ so verändert werden, daß sich nur φ um $\Delta\varphi$ ändert, der Schwerpunkt ξ_V jedoch unverändert bleibt. Die neue Arealkurve ergibt sich damit zu

$$\sigma_\varphi(\xi) = \sigma_5(\xi) + \Delta\sigma_\varphi(\xi)$$

Die Zusatzkurve $\Delta\sigma_\varphi(\xi)$ besteht aus einer charakteristischen Funktion $f(\xi)$, die proportional $\Delta\varphi$ und einer weiteren Konstanten C beliebig verändert werden kann, und hat damit für das Vor-, bzw Hinterschiff die folgende Form:

$$\Delta\sigma_{\varphi V}(\xi) = 2 \cdot \Delta\varphi_V \cdot C_V \cdot f_V(\xi) \quad (\text{Vorschiff})$$

und
$$\Delta\sigma_{\varphi H}(\xi) = 2 \cdot \Delta\varphi_H \cdot C_H \cdot f_H(\xi) \quad (\text{Hinterschiff})$$

Variationsschema der C-Serie

0.620	3.00	1.5	0.620	3.75	1.5	0.620	4.50	1.5	
0.620	3.00	1.7	0.620	3.75	1.7	0.620	4.50	1.7	
0.620	3.00	2.0	0.620	3.75	2.0	C12	0.620	4.50	2.0
0.620	3.00	2.5	0.620	3.75	2.5	0.620	4.50	2.5	

0.646	3.00	1.5	0.646	3.75	1.5	C10	0.646	4.50	1.5		
0.646	3.00	1.7	C1	0.646	3.75	1.7	C6	0.646	4.50	1.7	C11
0.646	3.00	2.0	C3	0.646	3.75	2.0	C5	0.646	4.50	2.0	C16
0.646	3.00	2.5	0.646	3.75	2.5	C7	0.646	4.50	2.5		

0.660	3.00	1.5	0.660	3.75	1.5	0.660	4.50	1.5	
0.660	3.00	1.7	0.660	3.75	1.7	0.660	4.50	1.7	
0.660	3.00	2.0	0.660	3.75	2.0	C13	0.660	4.50	2.0
0.660	3.00	2.5	0.660	3.75	2.5	0.660	4.50	2.5	

0.680	3.00	1.5	0.680	3.75	1.5	0.680	4.50	1.5	
0.680	3.00	1.7	0.680	3.75	1.7	0.680	4.50	1.7	
0.680	3.00	2.0	0.680	3.75	2.0	C14	0.680	4.50	2.0
0.680	3.00	2.5	0.680	3.75	2.5	0.680	4.50	2.5	

0.700	3.00	1.5	0.700	3.75	1.5	0.700	4.50	1.5	
0.700	3.00	1.7	0.700	3.75	1.7	0.700	4.50	1.7	
0.700	3.00	2.0	0.700	3.75	2.0	C15	0.700	4.50	2.0
0.700	3.00	2.5	0.700	3.75	2.5	0.700	4.50	2.5	

Konstanten : Modelllänge $L = 6.000$ m

$\beta = 0.782$

Lage des Verdrängungsschwerpunktes der Länge

nach $x = -0.0145 L$

In diesem Fall wurde für die charakteristische Funktion $f(\xi)$ eine solche gewählt, deren Integral

$$\int_{-1}^0 f_h(\xi) \cdot d\xi = \int_0^{+1} f_v(\xi) \cdot d\xi = 0.5$$

ist. Darüber hinaus ist es zweckmäßig, innerhalb einer φ -Variation nur eine charakteristische Funktion zu wählen.

Die Konstanten C_v und C_h lassen sich auf Grund der Forderungen, daß der Schwerpunkt der Verdrängung der Länge nach unverändert und $\Delta\varphi_v = \Delta\varphi_h = \Delta\varphi$ sein soll aus den folgenden Bestimmungsgleichungen

$$(\xi_h - \xi_{5V}) \cdot C_h + (\xi_v - \xi_{5V}) \cdot C_v = 0$$

$$C_h + C_v = 0$$

zu
$$C_h = + \frac{2 \cdot (\xi_v - \xi_{5V})}{\xi_v - \xi_h}$$

und
$$C_v = - \frac{2 \cdot (\xi_h - \xi_{5V})}{\xi_v - \xi_h}$$

errechnen. Dabei ist

ξ_v der Schwerpunkt der Fläche unter der Kurve $\Delta\sigma_v(\xi)$ der Länge nach und entsprechend

ξ_h der Schwerpunkt der Fläche unter der Kurve $\Delta\sigma_h(\xi)$.

Als charakteristische Funktionen für die C-Serie wurde für das Vorschiff

$$f_v(\xi) = \sin^2(\pi\xi) \quad (0 \leq \xi \leq 1.0)$$

und für das Hinterschiff die in der Tab. 3 tabellarisch gegebene Funktion gewählt. Die beiden Konstanten C_v und C_h haben die Werte

$$C_v = 0.981935$$

$$C_h = 1.018065$$

Die Funktionen $C \cdot f(\xi)$ sind graphisch in dem Diagramm 2 wiedergegeben worden.

2.3.4. Sondermodelle der C-Serie

Modell C2: Da für das Modell C1 $\varphi_v \neq \varphi_h$ ist und ein Vergleichsmodell zur B-Serie angefertigt werden sollte, ist die Spantarealkurve des Modells C2 unter der Bedingung

$$\varphi_v = \varphi_h = 0.64$$

in Anlehnung an die Spantarealkurve des Modells B5 verändert worden. Der Schwerpunkt der Verdrängung dieses Modells ist

$$\xi_{2\psi} = 0.$$

Die Erzeugung des Spantenrisses, dessen Aufmaße und Kurskurvenblattwerte in der Tabelle 4 zu finden sind, erfolgte so, wie in der Fig.2 angedeutet worden ist. Die Verschiebungsgrößen $\Delta\xi$ sind in der Tabelle 3a angegeben.

Modell C4: Um Fragen der Stülkenwerft bezüglich eines völligeren Schiffes zu klären, ist das Modell C4 gebaut worden. Aus den Forderungen bezüglich der Hauptkenndaten (s. Tabelle 1) für das Modell C4 mit

$$B/T = 3.50 \quad \varphi = 0.66$$

$$L/B = 9.00 \quad \beta = 0.80$$

ergaben sich für die Änderungen:

1. Änderung von φ : Als Änderungsfunktion wurde für das Vor- und Hinterschiff

$$\Delta\sigma(\xi) = 2 \cdot \Delta\varphi \cdot \sin^2(\pi\xi) \quad \text{gewählt mit}$$

$$\Delta\varphi = 0.0151$$

Um die richtigen Spantflächen aus dem Linienriß C1 zu erhalten, müssen die Absolutwerte der Spantarealkurve noch mit dem Verhältnis β_4/β_1 multipliziert werden. Die Spantarealkurve ist in Tabelle 3 wiedergegeben worden.

2. Änderung von β : Durch graphisches Ändern der Hauptspantkontur.

3. Änderungen von B/T und C_v : durch Multiplikation mit den Faktoren K_y und K_z . Die Aufmaße und die Werte des Kurzkurvenblattes sind in der Tabelle 5 zusammengefaßt worden.

Modell C8: Um den Einfluß eines breiteren Hecks, verbunden mit einem völligeren Hinterschiff zu prüfen, ist das Modell C8 mit den Forderungen

$$\frac{B_{\text{Spiegel}}}{B} = 0.95$$

und $\varphi = 0.66$ ($\varphi_h = 0.71$)

unter Beibehaltung des Vorschiffes des Modells C1 aus diesem entwickelt worden. Die Spantarealkurve ist in dem Diagr. 3, bzw. in der Tab. 3, der Spantenriß in Fig. 4 und die Aufmaßtabelle mit den Kurzkurvenblattwerten in der Tab. 7 zu finden.

Modell C9: Modell C9 ist eine Sonderform, die auf Wunsch des Bundesministeriums der Verteidigung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Schneekluth entwickelt worden ist. Die Hauptkenndaten sind in der Tab. 1, die Spantarealkurven des geänderten und unveränderten Modells in dem Diagr. 3, bzw. der Tab. 3, und die Aufmaße mit den Kurzkurvenblattwerten in der Tab. 8 zu finden.

2.3.5. Hinterschiffvariation des Modells C5

Um den Einfluß der Heckbreite (Spiegelbreite) auf das Widerstandsverhalten zu untersuchen, ist eine Modellfamilie aus dem Modell C5 durch Änderung des Hinterschiffes entwickelt worden, wobei das Vorschiff und die Hauptspantfläche konstant geblieben sind. Als Variationsparameter tritt das Verhältnis der Spiegelbreite B_{Spiegel} zur Hauptspantbreite B auf, das die folgenden Werte annimmt:

$$\frac{B_{\text{Spiegel}}}{B} : 0.753, 0.85, 0.95, 1.00 \text{ und } 1.05 .$$

Da die Eintauchung des Spiegels (T) konstant bleibt, ändert sich die benetzte Spiegelfläche F ebenfalls. Die drei Hauptparameter φ , B/T und C_V bleiben konstant.

Werden die Aufmaße der CWL und die Spiegelflächen vorgegeben, dann lassen sich die Aufmaße nach der folgenden Prozedur berechnen. Als geeignete Änderungsfunktionen werden dabei Polynome verwendet (Weinblum (9)).

Hat die Gleichung der Änderungsfunktion $\Delta\sigma(\xi)$ der Spantarealkurve $\sigma(\xi)$ die Form

$$\Delta\sigma(\xi) = \sum_{v=0}^n a_v \cdot \xi^v \quad (-1 \leq \xi \leq 0)$$

dann lassen sich die unbekanntenen Koeffizienten aus den folgenden Bestimmungsgleichungen ermitteln:

1. $\Delta\sigma(0) = 0$
2. $\Delta\sigma(-1) = \Delta\sigma_0 \quad (\text{ vorgegeben })$
3. $\frac{\partial}{\partial \xi} (\Delta\sigma(0)) = 0$
4. $\frac{\partial}{\partial \xi} (\Delta\sigma(-1)) = t = \frac{\sigma_1 - \sigma_{1+1}}{\xi_1 - \xi_{1+1}}$
5. $\Delta\varphi = 0 = \Delta\varphi_0 + \int_{-1}^0 \Delta\sigma(\xi) \cdot d\xi$
 $(\text{ mit } \Delta\varphi_0 = \int_{-1}^{-1} \Delta\sigma(\xi) \cdot d\xi)$

(Die Einführung des Intervalls $-1 \leq \xi \leq 0$ statt $-1 \leq \xi \leq 0$ war notwendig, da die Spante 1/2 bis 2 sonst entarten. Diese Spante werden einfach linear im Verhältnis ihrer CWL-Breite zur entsprechenden CWL-Breite des Ausgangsmodells vergrößert. Parallel dazu ändern sich deren Spantflächen)

Die Änderungsfunktion $\Delta\eta(\xi, \zeta)$ der Spantkontur für $\xi = \text{const}$ wird nun analog durch ein Polynom approximiert, dessen Koeffizienten aus den folgenden Gleichungen bestimmt werden können:

1. $\Delta\eta(\xi, 0) = \Delta\eta_0(\xi) \quad (\text{ vorgegebenes } \\ \text{ CWL-Au\ss} \text{maß })$

2. $\Delta\eta(\xi, -1) = 0$
3. $\frac{\partial}{\partial \xi}(\Delta\eta(\xi, \zeta)) = 0$ für $\zeta = -1$ und $\zeta = 0$
4. $\int_0^{-1} \Delta\eta(\xi, \zeta) d\xi = \Delta\sigma(\xi)$

Mit diesen Bedingungen ergeben sich die Koeffizienten des Polynoms

$$\Delta\eta(\xi, \zeta) = a_n(\xi) \cdot \zeta^n + a_m(\xi) \cdot \zeta^m + a_p(\xi) \cdot \zeta^p \quad \text{zu}$$

$$a_n(\xi) = \frac{n+1}{(n-m)(n-p)} \left\{ (m+1)(p+1)\Delta f(\xi) - (m+p+1)\Delta\eta_0(\xi) \right\}$$

$$a_m(\xi) = \frac{m+1}{(m-p)(m-n)} \left\{ (p+1)(n+1)\Delta f(\xi) - (p+n+1)\Delta\eta_0(\xi) \right\}$$

$$a_p(\xi) = \frac{p+1}{(p-n)(p-m)} \left\{ (m+1)(n+1)\Delta f(\xi) - (m+n+1)\Delta\eta_0(\xi) \right\}$$

Die gesamten Rechnungen wurden auf der elektronischen Rechenanlage TR 4 der Universität Hamburg durchgeführt. Als geeignete Potenzen der Polynome der Änderungsfunktionen $\Delta\sigma(\xi)$ und $\Delta\eta(\xi, \zeta)$ haben sich

$$n = 2, \quad m = 3, \quad p = 4$$

ergeben.

Die Tabellen 14 bis 17 zeigen die maschinell errechneten Aufmaße, die nur wenig nachträglich korrigiert werden mußten, und die dazugehörigen Werte des Kurvenblattes. Die CWL ist die WLS, die im Hinterschiff vorgegeben worden ist. Die folgende Tabelle gibt die Konstanten und die variierten Parameter der Modelle an:

Konstanten:

$$\varphi = 0.6449$$

$$C_{\Psi} = 0.0020$$

$$B/T = 3.7500$$

$$\beta = 0.7832$$

Konstante Spiegelgröße:

$$T/T_{HSP} = 0.1876$$

Parameter:

	B/B_{HSP}	F/F_{HSP}	ξ_{WL}	α	ξ_{Ψ}
C5	0.7532	0.1019	-0.0618	0.7957	-0.0145
C17	0.8500	0.1149	-0.0676	0.8096	-0.0156
C18	0.9500	0.1284	-0.0736	0.8239	-0.0161
C19	1.0000	0.1351	-0.0765	0.8312	-0.0166
C20	1.0500	0.1419	-0.0801	0.8431	-0.0172

Der Index HSP bezieht sich dabei auf die entsprechende Größe im Hauptspant.

2.3.6. Bugwulstvariation des Modells C1

Da der Bugwulst nicht nur durch seine Größe, sondern auch durch seine Lage den wellenbildenden Widerstand erheblich beeinflusst, ist das Modell C1 mit mehreren rotationssymmetrischen Wulstkörpern, die in Fig.9 dargestellt sind, ausgerüstet worden. Aus der Forderung heraus, daß der Wulst ein örtlich konzentriertes Volumen sein soll, sind die Wulstkörper so weit wie möglich kugelförmig ausgebildet worden, deren auslaufender Teil ein Kegel ist.

Im einzelnen haben die freifahrenden Wulstkörper die folgenden Abmessungen:

$$\text{Länge: } \frac{l}{L/2} = 0.1667 + \frac{r}{L/2}$$

wobei r der Kugelradius ist.

Wulstkörper	$\frac{r}{L/2}$	v_b/v_m	S_b/S_m
A	0.02467	0.01012	0.0380
B	0.01960	0.00609	0.0287
C	0.02827	0.01373	0.0451
D	0.03112	0.01704	0.0510
E	0.03333	0.01995	0.0558

Die Beschreibung der Lage des Wulstes bezieht sich auf die Lage des Kugelmittelpunktes, der als Wulstzentrum gedacht

wird, und auf den sich die Längen- und Tiefenangaben beziehen. Die Rotationsachse ist immer parallel zur Basis.

3. Modellexperimente in glattem Wasser

Nach den vom Institut für Schiffbau hergestellten Aufmaßtabellen sind von der Hamburgischen Schiffbauversuchsanstalt (HSVA) Modelle hergestellt und im großen Tank dieser Anstalt experimentell untersucht worden. Soweit mit den Modellen keine Versuche im Seegang vorgesehen waren, haben diese keinen Decksprung erhalten. In den übrigen Fällen wurde der Sprung dem des Stülkenzerstörers proportional gewählt. Alle Modelle, mit Ausnahme der Modelle B8, C1 und C9, die aus Araldit hergestellt worden sind, wurden aus schichtverleimten Kiefernholz gefräst.

Aufgrund der Abmessungen des großen Tanks der HSVA, die z.Z. der Durchführung des Programms

Tanklänge 180 m ,

Tankbreite 18 m ,

und Tanktiefe 6 m

betragen, brauchte bei der gewählten Modelllänge von 6 m kein Breiten- und Tiefeneinfluß infolge der Fahrwasserbeschränkung befürchtet zu werden. Nach den üblichen Richtwerten tritt ein Breiteneinfluß erst ab $L \geq 1/2 \cdot \text{Tankbreite}$ und ein Tiefeneinfluß nach Graff erst bei einer Geschwindigkeit von

$$Fr > 0.7 \cdot \sqrt{\frac{\text{Tanktiefe}}{L}} = 0.7$$

auf. Obwohl die Widerstandsmessungen gelegentlich bis $Fr=0.8$ ausgedehnt worden sind, ist keine Flachwasserkorrektur durchgeführt worden, da diese Meßwerte durch die geringe Meßzeit, die bei der gegebenen Tanklänge für Geschwindigkeiten über $Fr = 0.7$ zur Verfügung stand, ohnehin unzuverlässig sind.

Das zu untersuchende Geschwindigkeitsintervall

$$0.15 \leq Fr \leq 0.70$$

ist in zwei Bereiche aufgeteilt worden. Um bei niedrigen Ge-

schwindigkeiten noch eine turbulente Grenzschicht sicherzustellen, sind alle Modelle in dem Intervall

$$0.15 \leq Fr \leq 0.40$$

mit einem Turbulenzerzeuger, der sogen. Säge, die in Fig.3 abgebildet ist, versehen worden. Die Säge wurde in einem Abstand von $0.05 \cdot L$ vom vorderen Lot in das Modell eingelassen, so daß die Zacken herausragten, die eine dreidimensional turbulente Grenzschicht erzeugten. In dem Intervall

$$0.40 \leq Fr \leq 0.70$$

wurden alle Modelle ohne Turbulenzerzeuger geschleppt.

Als wertvolle Ergänzung dieser Untersuchung systematischer Modelle kann die Arbeit von Hugh Y.H. Yeh [11] herangezogen werden. Yeh hat in einer analogen Weise 27 Modelle hergestellt und in einem Geschwindigkeitsbereich von

$$\sim 0.06 \leq Fr \leq 1.50$$

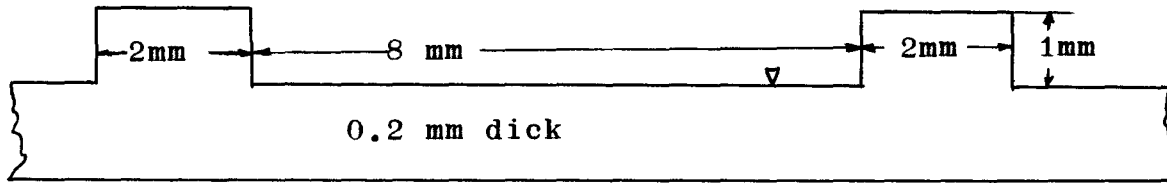
experimentell untersucht.

3.1. Zu messende Größen und Meßmethoden

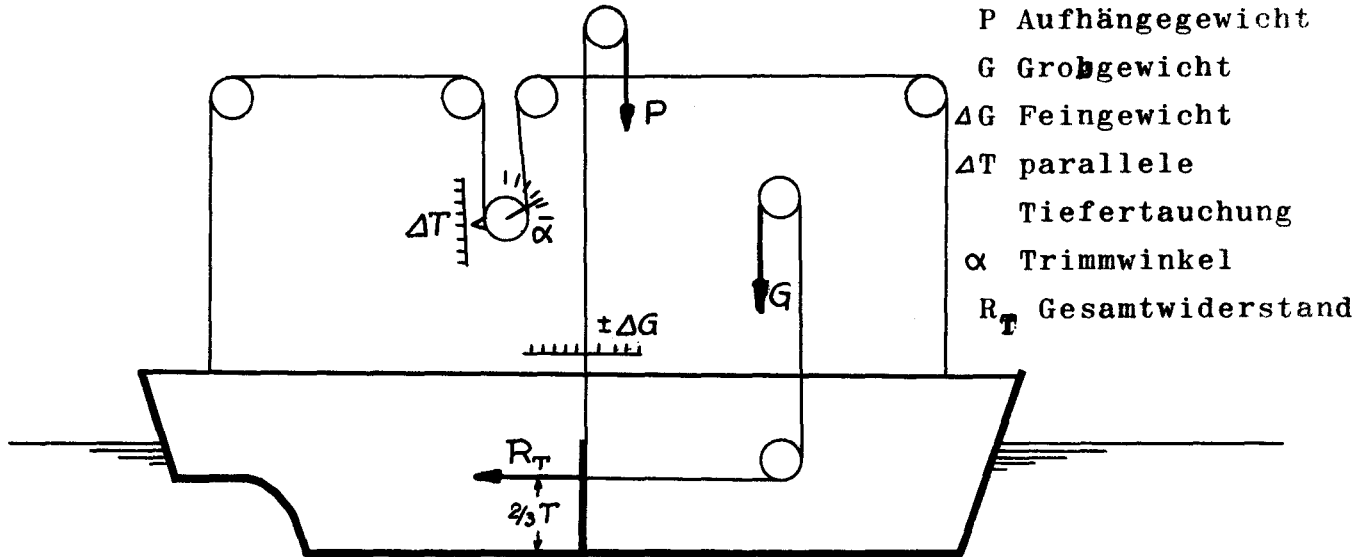
1. Widerstandsversuch:

Während der Messung wurde das Modell am Schleppwagen gerade geführt, es konnte aber frei vertrimmen und tauchen. Da das Modell durch die Widerstandswaage mit dem Schleppwagen verbunden ist, wurde unter Vernachlässigung der geringen Pendelbewegung des Modells dessen Geschwindigkeit mit derjenigen des Schleppwagens gleichgesetzt. Nachdem das Modell einen nahezu stationären Bewegungszustand erreicht hatte, wurden die folgenden Größen gemessen:

R_T	[kp]	der Gesamtwiderstand des Modells
v	[m/s]	die Modell- bzw Schleppwagengeschwindigkeit
ΔT	[m]	die parallele Tiefertauchung im Hauptspant
α	[°]	der Trimmwinkel und die jeweils herrschende Wassertemperatur in Grad Celsius

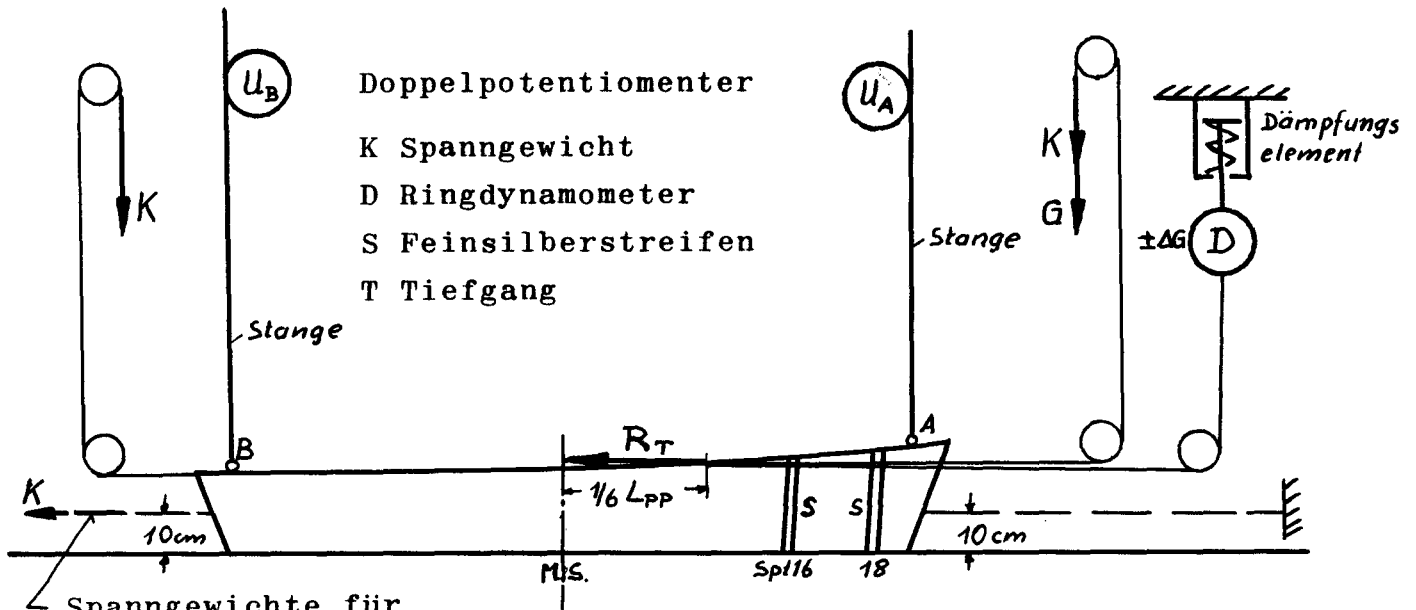


Turbulenz erzeuger 'Säge'



- P Aufhängegewicht
- G Großgewicht
- ΔG Feingewicht
- ΔT parallele Tiefertauchung
- α Trimmwinkel
- R_T Gesamtwiderstand

Messung von Gesamtwiderstand, Trimm und Tauchung im glatten Wasser



Spanngewichte für Rollversuch

Messung von Gesamtwiderstand und Bewegung im regelmäßigen Seegang

Fig. 3 Prinzipskizzen der Versuchsanordnungen

Der gesamte Modellwiderstand R_T wurde nach dem Prinzip der Pendelwaage bestimmt, das in Fig.3 skizziert worden ist. Danach ist der Gesamtwiderstand R_T gleich der Summe aus dem Grobgewicht G , das bei allen Modellen im Hauptspant in einer Höhe von $2/3 T_2$ für die Tiefgänge T_2 und T_3 , resp. $2/3 T_1$, angreift, und dem Feingewicht $\pm\Delta G$, das den Pendelausschlägen proportional ist.

Die Pendelausschläge wurden zur genaueren Ermittlung von $\pm\Delta G$ nur bei niedrigen Geschwindigkeiten registriert. Da die Empfindlichkeit des Pendels von dem Aufhängegewicht P abhängt, wurden bei niedrigen Geschwindigkeiten $P = 8.3 \text{ kp}$ und bei höheren $P = 18.5 \text{ kp}$ aufgelegt.

Die Geschwindigkeit v wurde aus den Schrieben des Zeit-Weg-Schreibers ermittelt, während die Werte für die parallele Tiefertauchung und für den Trimmwinkel direkt an dem Trimmeßgerät abgelesen werden konnten.

Um einen Überblick über die Wellenbildung der Modelle zu bekommen, sind photographische Aufnahmen der Wellenprofile der Modelle bei verschiedenen Geschwindigkeiten gemacht worden, von denen die typischen in den Abbildungen 1 bis 5 zusammengestellt worden sind.

2. Propulsionsversuch:

Analog dem Widerstandsversuch wurde auch hierbei das Modell gerade geführt, konnte aber frei tauchen und vertrimmen. Während des Versuches wurde das Modell durch Regeln der Propellerdrehzahl n dem Schleppwagen nachgeführt, und zwar so, daß die Relativgeschwindigkeit zwischen Wagen und Modell annähernd Null ist. Gemessen wurden die folgenden Größen:

S	[kp]	der Schub
M	[mkp]	das Drehmoment und
n	[min ⁻¹]	die Drehzahl des Propellers,
sowie v	[m/sec]	die Modell-, resp. Wagengeschwindigkeit
ΔT	[m]	die parallele Tiefertauchung und
α	[°]	der Trimmwinkel

Schub und Drehmoment des Propellers wurden unter Berücksichtigung eines Reibungsabzuges mit einem elektrischen Dynamometer, das mit Dehnungsmeßstreifen ausgerüstet ist, und die Drehzahl mit einem Drehzahlmesser gemessen.

3.2. Widerstandsversuche und deren Auswertung

Aus dem gemessenen Gesamtwiderstand R_T wurde nach der Froudschen Methode unter Abzug des Reibungswiderstandes R_{F0} der äquivalenten ebenen Platte für 15° Celsius Wassertemperatur nach ITTC 1957 der Restwiderstand R_R ermittelt. Dieser Teil des Widerstandes wurde auf das Displacement D bezogen, und der so erhaltenen Restwiderstandsbeiwert:

$$\epsilon_R = \frac{R_R}{D} = f (Fr)$$

als Funktion der Froudschen Zahl $Fr = v / \sqrt{g L}$ in Diagrammen aufgetragen. Zusätzlich ist

$$\epsilon_T = \frac{R_T}{D} = g (Fr)$$

der Gesamtwiderstandsbeiwert für ein 120-m-Schiff errechnet und in die gleichen Diagramme eingezeichnet worden. Als Rauigkeitszuschlag für die Großausführung wurde

$$\Delta C_F = 0.0003$$

genommen. Aus den ϵ -Werten lassen sich durch Multiplikation mit

$$K = \frac{D}{\rho/2 v^2 S}$$

die C-Werte ermitteln.

Da die Diagramme vornehmlich für den entwerfenden Konstrukteur gedacht sind, dem zunächst nur die geforderte Verdrängung bekannt ist, sind die ϵ -Werte gewählt worden. In den Tabellen 25 bis 118, die die original Meßwerte enthalten, sind zusätzlich noch die C-Werte

$$C_T = \frac{R_T}{\rho/2 v^2 S} \quad \text{und}$$

$$C_R = \frac{R_R}{\rho/2 v^2 S}$$

angegeben worden.

Die Vertrimmung und die parallele Tiefertauchung, die

das Schiff während der Fahrt erleidet, sind ebenfalls als Funktionen der Froudschen Zahl in Diagrammen graphisch dargestellt worden. Dabei ist die parallele Tiefertauchung ΔT mit L dimensionslos gemacht worden, während die Vertrimmung in Gradminuten angegeben ist, d.h.

$$\begin{aligned}\Delta T/L &= f (Fr) \\ \alpha &= g (Fr) \quad [']\end{aligned}$$

Aus diesen beiden Angaben lassen sich die auf die Länge L bezogenen Gesamttiefgangsänderungen an den Loten nach folgenden Formeln berechnen, wenn vorausgesetzt wird, daß das Modell um den WL-Schwerpunkt vertrimmt.

Gesamte Tiefgangsänderung im vorderen Lot:

$$\Delta T_v/L = \Delta T/L + (\xi_{WL} - 0.5) \cdot \sin \alpha$$

Gesamte Tiefgangsänderung im hinteren Lot:

$$\Delta T_h/L = \Delta T/L + (\xi_{WL} + 0.5) \cdot \sin \alpha$$

Alle Diagramme sind so aufgebaut, daß von den drei Hauptparametern φ , B/T und C_v jeweils zwei konstant gehalten werden und einer varriert wird, der als Kurvenparameter erscheint.

3.2.1. Experimente mit den systematisch varrierten Modellen

Wie schon erwähnt worden ist, sind die Modelle auf je drei Tiefgängen geschleppt worden, das bedeutet, daß jede Parametervariation mit drei Diagrammen vertreten ist. Mögliche Querkurven, die für eine konstante Fr -Zahl den Widerstand als Funktion der drei Hauptparameter φ , B/T und C_v und des Tiefgangs T wiedergegeben würden, sind nicht ausgearbeitet worden, da der Umfang des Berichtes zu sehr angestiegen wäre.

1. B/T -Variation:

Kurvenparameter ist B/T , während φ und C_v konstant gehalten werden.

Die B/T -Variation ist ausnahmsweise für zwei C_v -Werte

durchgeführt worden. Die Parameterdarstellung der Kurven der Widerstandsbeiwerte

$$\varepsilon_R = R_R / D = W_R / D$$

und
$$\varepsilon_T = R_T / D = W_T / D$$

der Modelle

$$C1, C6, C11 \quad (C_V = 0.0017)$$

und
$$C3, C5, C16 \quad (C_V = 0.0020)$$

sind in den Diagrammen 5 bis 10 zu finden, und die zugehörigen Darstellungen von Trimm und Tauchung als Funktionen der Froudeschen Zahl in den Diagrammen 28 bis 33. Die Fotos der Wellenkontur der Modelle C3 und C16 für $Fr. = 0.3$ zeigt Abb.1

Das wichtigste Ergebnis ist, daß bei hohen Froudschen Zahlen ($Fr \geq 0.35$) der ε -Wert mit wachsendem B/T ansteigt, Trimm und Tauchung jedoch abnehmen.

Die B/T -Variation der B-Serie (Diagr.25, das die ε -Kurven zeigt, und Diagr.48, das Trimm und Tauchung zeigt) verhält sich ähnlich. Sie wurde mit den Modellen

B5, B13

durchgeführt.

2. φ -Variation:

Kurvenparameter ist φ , während B/T und C_V konstant bleiben.

Die Parameterdarstellung der ε -Werte der φ -Variation wurde mit den Modellen

C12, C5, C13, C14, C15

durchgeführt, und ist in den Diagrammen 11 bis 13 zu finden, dagegen Trimm und Tauchung in den Diagrammen 34 bis 36. Die Fotos der Wellenkontur an der Außenhaut der Modelle C12 und C15 für $Fr = 0.3$ zeigt Abb.1 .

Das wichtigste Ergebnis ist, daß sich die Kurven zunächst wie zu erwarten war verhalten, d.h. in dem Bereich

$$0.25 \leq Fr \leq 0.45$$

sind die Formen mit dem kleinsten φ denjenigen mit dem größten φ überlegen. Bei Geschwindigkeiten über $Fr = 0.45$ ändert sich

das Verhältnis erwartungsgemäß, die Unterschiede der einzelnen Varianten bleiben aber erstaunlich gering. Das Verhalten von Trimm und Tauchung ist nicht ganz so deutlich, hierbei scheint kaum eine bestimmbare Abhängigkeit von φ vorzuliegen (siehe Diagr. 36) .

Die φ -Variation der B-Serie (Diagr.24, das die ε_R -Kurven zeigt, und Diagr.47, das Trimm und Tauchung zeigt) verhält sich ganz analog, wie oben beschrieben, obwohl nur φ_h variiert worden ist. Die Variation erfolgte mit den Modellen

(B3), B5, B11, B12

Bei dieser Variation änderte sich gleichzeitig die Lage des Verdrängungsschwerpunktes ξ_V .

3. C_V -Variation:

Kurvenparameter ist C_V , während B/T und φ konstant bleiben

Die Parameterdarstellung der ε -Werte der C_V -Variation wurde mit den Modellen

C10, C6, C5, C7

durchgeführt und in den Diagrammen 14-16, resp. die Werte von Trimm und Tauchung in den Diagrammen 37-39 graphisch dargestellt. Die Fotos der Wellenkonturen an der Außenhaut der Modelle für $Fr = 0.30$ zeigt Abb.1 . Die Kurven verhalten sich erwartungsgemäß; das größte C_V hat den größten ε_R -Wert für $Fr = const$. Analog zu ε_R verhält sich der Trimmwinkel, während die parallele Tiefertauchung gerade ein umgekehrtes Verhalten bezüglich C_V zeigt.

3.2.2. Experimente mit den Sondermodellen

1. Widerstandsänderung durch einen Heckkeil:

Die Tatsache nutzend, daß eine Trimmverringerung auch eine Widerstandsverminderung zur Folge hat, sind die Modelle C1 und B5 mit einem Keil am Heck ausgerüstet worden. Dabei wurde die ursprünglich horizontal auslaufende Hinterschiffskontur

(für $\xi = -1$ und $\eta = 0$) um den Winkel
+ 2.5° und + 4.0° bei dem Modell C1
resp. + 2.5° bei dem Modell B5

gegen die ξ -Achse geneigt. Da dieses Flächenelement, dessen Längsausdehnung etwa $0.05L$ betrug, wie eine schräg angeströmte Platte einen Auftrieb erzeugt, der ein Trimmoment zur Folge hat, ändert sich der ε_R -Wert entsprechend der Änderung des Trimmwinkels. Die Ergebnisse hierzu sind für Modell C1 im Diagramm 17 (ε_R -Kurven), resp. Diagr.40 (Trimm und Tauchung), und für Modell B5 im Diagr.26, resp. Diagr.49, graphisch dargestellt.

Aus den Ergebnissen mit Modell C1 folgt, daß ein Anstellwinkel des Hecks von etwa 2.5° der günstigste ist.

2. Variation des Verdrängungsschwerpunktes der Länge nach:

Für diesen Fall können die Modelle C1 und C2 miteinander verglichen werden, deren Vergleich in dem Diagramm 20 (ε_R -Werte), resp. Diagr.43 (Trimm und Tauchung), dargestellt worden ist. Als Ergebnis erscheint auch hier wie erwartet, daß die achterliche Schwerpunktslage für ein schnelles Verdrängungsfahrzeug günstig ist. Zusätzlich hierzu kann die φ -Variation der B-Serie beachtet werden.

3. Variation der Ausgangsschwimmlage:

Die Modelle werden zunächst bei $Fr = 0$ kopflastig oder hecklastig vertrimmt, ^{und} dann geschleppt, um den Einfluß einer vorgegebenen Trimmlage auf den Widerstand zu untersuchen. Modell C4: Dieses Modell ist nicht nur auf 3 Tiefgängen mit

$$T_1 \rightarrow C_V = 0.00170$$

$$T_2 \rightarrow C_V = 0.00186$$

$$T_3 \rightarrow C_V = 0.00214$$

sondern auch vertrimmt geschleppt worden. Die Vertrimmung bei $Fr = 0$ wurde so bestimmt, daß sich für die kopf- und hecklastige Vertrimmung jeweils der benachbarte Tiefgang im hinteren Lot einstellte. Ausnahmen bilden T_1 kopflastig (dieser Fall

wurde nicht untersucht) und T_3 hecklastig. Für diesen Fall wurde ein Gesamttrimm von

$$\text{Gesamttrimm} / L = -0.00450$$

eingestellt. Die Ergebnisse liegen in dem Diagr.21 (ϵ_R -Werte) und 44 (Trimm und Tauchung) in graphischer Darstellung vor.

Modell B12 und B13: Von diesen Modellen wurde nur der mittlere Tiefgang T_2 in kopf- und hecklastiger Vertrimmung untersucht, die für $Fr = 0$ in allen Fällen

$$\text{Gesamttrimm} / L = \pm 0.005$$

betrug. Die entsprechenden Widerstandsbeiwerte sind in den Diagrammen 27 (B12) und 25 (B13) und die von Trimm und Tauchung in den Diagr.50 (B12) und 48 (B13) als Funktionen der Fr -Zahl aufgetragen worden.

Die Ergebnisse zeigen, daß eine künstliche Vertrimmung sich immer in dem Bereich günstig auf das Widerstandsverhalten eines Schiffes auswirkt, in dem diese das gleiche Vorzeichen wie die natürliche Vertrimmung hat.

4. Optimale Verdrängungsverteilung der Länge nach:

Die Ergebnisse mit den Modellen B5 und B10, wobei B10 eine nach der linearen Theorie des Wellenwiderstandes ermittelte optimale Verdrängungsverteilung der Länge nach hat, zeigen die Diagr. 26 (ϵ_R -Werte) und 49 (Trimm und Tauchung). Während sich die Trimmwinkel und die parallelen Tiefertauchungen der beiden Modelle kaum voneinander unterscheiden, ist das Modell B10 dem Modell B5 zunächst widerstandsmäßig ebenbürtig und ab $Fr = 0.4$ diesem sogar überlegen.

Dieser Fall zeigt, daß eine solche Verdrängungsverteilung durchaus bei einer Konstruktion in Betracht gezogen werden sollte. Abb.5 zeigt die Fotos der Wellenkonturen dieser Modelle an der Außenhaut bei $Fr = 0.3$.

5. Modell C9:

Die Ergebnisse dieses Modells, das in verschiedenen Trimmlagen und Formänderungen geschleppt worden war, zei-

gen die Diagr. 23 (ϵ_R -Werte) und 46 (Trimm und Tauchung). Da es eine extreme Form war, ist ein direkter Vergleich mit den systematisch variierten Modellen kaum möglich und auch wenig aufschlußreich und ist daher unterblieben.

Als ein mögliches Vergleichsmodell für C9 käme C8 in Frage, das mit und ohne Wulst dem Modell 69 überlegen ist. Sofern nicht Sonderaufgaben eine solche Form verlangen, ist diese Form kaum akzeptabel.

3.2.3. Experimente mit der Hinterschiffsvariation

Kurvenparameter ist B_{Spiegel}/B und verbunden damit α und ξ_{WL}/L , während φ , B/T und C_V konstant gehalten werden.

Diese Variation ist nur auf dem Tiefgang T_2 geschleppt worden. Die Parameterdarstellung der Ergebnisse der ϵ_R -Werte und der Auswertung von Trimm und Tauchung der Modelle

	$\frac{B_{\text{Spiegel}}}{B}$	α	ξ_{WL}	ξ_V
C5	0.753	0.7957	-0.0618	-0.0145
C17	0.850	0.8096	-0.0677	-0.0156
C18	0.950	0.8239	-0.0734	-0.0161
C19	1.000	0.8312	-0.0762	-0.0166
C20	1.050	0.8431	-0.0801	-0.0172

sind in den Diagrammen 19 (ϵ_R -Werte) und 42 (Trimm und Tauchung) als Funktionen der Froudeschen Zahl aufgetragen worden. Abb. 2 zeigt die Fotos der Wellenprofile dieser Modelle an der Außenhaut bei $Fr = 0.35$.

Aus den Diagrammen ist zu ersehen, daß der Einfluß der Spiegelverbreiterung auf den Restwiderstand nur gering ist. Deutlich ist allerdings zu erkennen, die Spiegelbreite größer als 75% der Hauptspantbreite sein sollte. Der Einfluß auf den Trimmwinkel ist dagegen wie erwartet, das breiteste Heck vertrimmt am wenigsten.

Parallel hierzu kann Modell C8 mit $B_{\text{spieg}}/B = 0.95$ betrachtet werden, dessen φ allerdings 0.66 beträgt.

3.2.4. Experimente mit den Bugwulstvariationen

Die Modelle C1 und C8 sind mit verschiedenen Wulstkörpern, die die Figur 9 zeigt, ausgerüstet und geschleppt worden. Da sich das Volumen der Wulstkörper beim Aufbau an das Modell ändert, erscheinen als Parameter die effektiven Wulstvolumina bezogen auf das Modellvolumen (V_b/V_m). Alle Fälle wurden unter der Bedingung

$$\varphi_{\text{Komb}} = \varphi_m + \varphi_b$$

ausgeführt, d.h. das Modellvolumen wurde um das Wulstvolumen größer. Alle Wulstkörper erhielten zusätzlich noch einen eigenen Turbulenzerzeuger, der gemäß Fig.9 angebracht worden war.

A: Systematische Bugwulstvariation des Modells C1:

1. Variation des Wulstvolumens:

Kurvenparameter ist V_b/V_m , während alle Modellparameter und die Lage des Wulstzentrums mit $d = 1.00$ und $f = 1.00$ konstant bleiben.

Untersucht wurden die Schiffs-Wulst-Kombinationen nur auf dem Tiefgang T_2 des Modells C1. Die Ergebnisse sind in Diagrammform in den Diagr.18 (ϵ_R -Werte) und 41 (Trimm und Tauchung) zu finden. Abb.3 zeigt die Fotos der Wellenprofile an der Außenhaut bei $Fr = 0.3$. Die effektiven Wulstgrößen gehen aus der folgenden Tabelle hervor:

Wulstform	V_b/V_m	S_b/S_m
A	0.00934	0.0351
B	0.00560	0.0264
C	0.01270	0.0417
D	0.01580	0.0472
E	0.01850	0.0518

2. Variation der Tiefenlage des Wulstkörpers A:

Kurvenparameter ist die Tauchtiefe f des Wulstzentrums, während die übrigen Größen wieder konstant ge-

halten werden. Sekundär mit f ändert sich aber auch v_b/v_m , da der Wulstkörper mehr oder weniger in das Modell eintaucht.

Die Ergebnisse sind ebenfalls als Funktion der Froudeschen Zahl in den Diagrammen 18 und 41 graphisch aufgetragen worden. v_b/v_m ändert sich mit f wie die folgende Tabelle angibt:

f	v_b/v_m	S_b/S_m
1.25	0.01012	0.0380
1.00	0.00934	0.0351
0.85	0.00778	0.0292
0.70	0.00544	0.0204

Abb.4 zeigt wieder die Fotos der Wellenprofile für $Fr = 0.3$.

B: Wulstvariation des Modells C8:

Analog zu dem Modell C1 ist das Modell C8 mit zwei verschiedenen Wulstkörpern, die die Fig.9 zeigt, ausgerüstet und auf dem Tiefgang T_2 geschleppt worden. Das Wulstzentrum befand sich bei $d = 1.00$. v_b/v_m und S_b/S_m haben die folgenden effektiven Größen:

Wulstform	v_b/v_m	S_b/S_m
I	0.0121	0.0383
II	0.0243	0.0590

Aus diesem Diagramm geht deutlich die Überlegenheit der Schiff-Wulst-Kombination ab $Fr = 0.26$ hervor, die für die Wulstform II am größten ist.

Aus den Diagrammen läßt sich eine deutliche Abhängigkeit der Widerstandsverringerung durch einen Bugwulst von dem Wulstvolumen erkennen. Selbst die stark ausgeprägte Kugelwulstform zeigt ab $Fr = 0.26$ einen günstigen Einfluß. Theoretisch müßte für die Wulstform B analog den übrigen Formen etwa ab $Fr = 0.26$ die Beziehung

$$\epsilon_R \text{ Mod} \geq \epsilon_R \text{ Komb}$$

gelten. Eine plausible Erklärung für das umgekehrte Verhalten der experimentellen Kurven kann nicht gegeben werden,

Die Abhängigkeit des Wulsteffektes von der Lage des Wulstzentrums der Tiefe nach, wird von den Experimenten richtig wiedergegeben. Danach ist der höchst gelegene Wulst(mit $f = 0.70$) der beste, denn für diese Größe und Lage ist der Wulst noch nicht optimal. Wächst f , dann klingt der Wulsteffekt monoton ab, d.h. wenn der durch den Wulst erhöhte Reibungsanteil mit abgezogen wird, was in der Auswertung berücksichtigt worden ist, dann muß

$$\text{für } f \rightarrow \infty \quad \frac{\epsilon_R \text{ Mod} - \epsilon_R \text{ Komb}}{\epsilon_R \text{ Mod}} \rightarrow 1.0 \quad \text{gehen.}$$

Für $f = 1.25$ ist dieser Sachverhalt in den Kurven des Diagr.18 allerdings nicht gegeben. Die Ursache hierfür dürfte in der schwierigen Befestigung des Wulstkörpers am Modell gelegen haben, die zusätzlichen Ablösungswiderstand, der in ϵ_R erhalten ist, erzeugt hat.

Interessant ist das Trimmverhalten (Diagr.41) der Schiff-Wulst-Kombinationen. Der Wulst wirkt so auf den Trimmwinkel α ['], daß dieser absolut gesehen vergrößert wird. Bezüglich der parallelen Tiefertauchung läßt sich kein klares Verhalten erkennen.

3.2.5. Vergleich der Widerstandskurven verschiedener Formen

1. Vergleich der beiden Formen der B- und C-Serie:

Die beiden vergleichbaren Vertreter der Serien haben die gleichen Hauptparameter, unterscheiden sich aber in den folgenden Punkten:

	Modell B5	Modell C2
α	0.7740	0,8035
β	0.8320	0.7832
ξ_{WL}	-0.0462	-0.0547
ξ_V	+0.0010	-0.0006
Spiegelgrößen		
B/B_{HSP}	0.6410	0.7532
T/T_{HSP}	0.2850	0.1876
F/F_{HSP}	0.1343	0.1019

Aus dem Diagr.27a, das $\epsilon_R = f (Fr)$ zeigt, folgt, daß die Form C mit allen drei Tiefgängen günstiger ist. Das gleiche ergibt sich für das Trimmverhalten (Diagr.51).

2. Vergleich von Kreuzerheck und Spiegelheck:

Die beiden Modelle B5 (Spiegelheck) und B8 (Kreuzerheck) zeigen deutlich die Überlegenheit des Spiegelhecks etwa ab $Fr = 0.3$, wie aus den Diagr. 26 ($\epsilon_R = f (Fr)$) und 49 (Trimm und Tauchung) zu ersehen ist. Unterhalb $Fr = 0.3$ ist das Kreuzerheck die günstigste Hinterschiffsform.

Abb.5 zeigt die Fotos der Wellenkonturen an der Außenhaut bei $Fr = 0.3$.

3.3. Propulsionsversuche und deren Auswertung

Mit den Modellen B8 und C1, die als Vertreter der verschiedenen Hinterschiffsformen aus Araldit hergestellt worden sind, wurden Propulsionsversuche im glatten Wasser durchgeführt. Da es sich um Vergleichsversuche handelt, ist streng darauf geachtet worden, daß keine zusätzlichen, für beide Formen unterschiedlichen Parameter aufgetreten sind. Beide Modelle sind als Doppelschrauber ausgeführt worden, bei denen auf Schlingerkielen und andere Anhänge verzichtet worden ist.

1. Propulsion:

Als **Modellpropeller** wurden ein links- und ein rechtsdrehender Vorratspropeller verwendet, deren Hauptdaten und Freifahrtprogramme im Diagr.4 zu finden sind. Die Anordnung der Propellerwellen im Schiff sind für beide Modelle in der Fig.8 dargestellt, während Fig.7 die Anordnung der Ruder, der Wellenböcke und der Propeller im Maßstab 1:4 zeigt. Modell B8 ist mit einem Mittelruder und Modell C1 mit zwei im Schraubenstrahl liegenden Rudern ausgerüstet.

2. Durchführung der Versuche

Mit jedem Modell wurde je ein Widerstandsversuch mit und ohne Anhänge und ein Propulsionsversuch für den Bereich

$0.2 \leq Fr \leq 0.7$ durchgeführt. Zusätzlich wurden für die Froudeschen Zahlen 0.4, 0.5, und 0.6 Überlastversuche mit einer Reibungsabzugsvariation von $0.5 R_a$ und $1.5 R_a$ für den Maßstab 1:20 der Großausführung vorgenommen.

3. Auswertung der Versuche:

Die Auswertungsarbeit dieser Versuche wurde von Herrn Obering. K. Helm (HSVA) übernommen, dessen Schlußfolgerungen in den vorliegenden Bericht aufgenommen worden sind. Die Meßergebnisse wurden nach Froude mit einem Reibungsabzug nach ITTC 1957 und einem Rauheitszuschlag von $\Delta C_F = 0.2 \cdot 10^{-3}$ ausgewertet. Entsprechend den Überlastversuchen wurden die Ergebnisse auf Großausführungen im Maßstab

1:10 1:20 und 1:30 umgerechnet.

Auf die Ergebnisse der Widerstandsversuche ohne Anhänge ist bereits eingegangen worden. Nur soviel ist noch einmal zu erwähnen: Bei Geschwindigkeiten über $Fr = 0.3$ ist die Spiegelheckform die günstigste.

3.3.1. Widerstandsversuch mit Anhängen

Die Meßergebnisse und die Auswertung sind in der Tabelle 119 zu finden und deren graphische Darstellung für die Großausführung in dem Diagramm 60 .

Bei der Übertragung des Anhängewiderstandes sind gemäß einer Festlegung der Bundesmarine 40% der gemessenen Widerstandsdifferenz zwischen dem glatten und dem mit Anhängen versehenen Modell als Maßstabseffekt der Anhänge angenommen und zum Reibungsabzug zugeschlagen worden. Die Ergebnisse im Diagramm 60 zeigen, daß jetzt die Kreuzerheckform der Spiegelheckform auch bei großen Fr-Zahlen überlegen ist. Auch wenn sich durch die Anhänge (s. Fig.7) die Trimmlage des Modells B8 verringert, kann eine vollständige Erklärung für dieses unerwartete Ergebnis nicht abgegeben werden. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß infolge der Trimmveränderung des Modells B8 durch die Anhänge der Widerstand in bekannter Weise

geändert wird. Daraus folgt, daß der Differenzwiderstand, der zu 60% übertragen wird, zwischen dem Modell mit und dem Modell ohne Anhänge nicht der reine Anhängewiderstand sein kann. Dieses Verfahren ist also nur zulässig, wenn der Trimm des Schiffes durch die Anhänge kaum beeinflußt wird. Da die Beurteilung der beiden Formen nach der geschilderten Methode, die Methode B heißen möge, nicht erwartungsgemäß geschehen kann, sind von Herrn Helm noch zwei weitere Methoden der Auswertung und Übertragung der Ergebnisse auf die Großausführung durchgerechnet worden, die aber keine Erklärung des Phänomens bringen. Es bleibt auch nach der Methode C das Spiegelheckschiff ungünstiger. Die Ergebnisse nach den Methoden A, B und C sind in den Tabellen 122 und 123 für die Fr.-Zahlen 0.4, 0.5 und 0.6 zusammengefaßt worden.

3.3.2. Propulsionsversuch

Die Ergebnisse des Propulsionsversuches sind in den Tabellen 120 und 121 zusammengefaßt, resp. als Funktion der Fr.-Zahl und nach Methode B ausgewertet im Diagr.60 graphisch dargestellt worden. Es zeigt sich hier die Überlegenheit des Kreuzerheckschiffes im ganzen Geschwindigkeitsbereich. Auch wenn man bedenkt, daß der Propulsionsgütegrad sich durch die unterschiedlichen Zustömverhältnisse für das Modell C1 verschlechtert, kann eine befriedigende Erklärung nicht gefunden werden.

Im Gegensatz zu den Widerstandsergebnissen sind die Resultate der Propulsionsversuche nur für den Maßstab auf die Großausführung übertragbar, für den der Reibungsabzug zur Entlastung der Modellpropeller berücksichtigt wurde. Um die Propulsionsergebnisse wenigstens auf drei Maßstäbe beziehen zu können, sind die Überlastversuche für die Geschwindigkeiten $Fr = 0.4, 0.5, \text{ und } 0.6$ gemacht worden, deren Ergebnisse in der Tabelle 124 zusammengefaßt worden sind. Die Daten können die Projektierungsarbeit wesentlich erleichtern.

4. Modellversuche in regelmäßigem Seegang

Bezüglich ihres Widerstands- und Bewegungsverhaltens wurden nur die systematisch variierten Modelle untersucht. Die Untersuchung bezieht sich nur auf den mittleren Tiefgang T_2 , mit Ausnahme der Modelle C3 und C5, die versehentlich auf dem Tiefgang T_1 geschleppt worden sind. Das Geschwindigkeitsintervall hatte die Größe

$$0.2 \leq Fr. \leq 0.6$$

Auf einen Turbulenzerzeuger kann bei Seegangsversuchen verzichtet werden.

Abmessungen des regelmäßigen Seegangs:

1. Wellenhöhe: Die Wellenhöhe betrug bei allen Versuchsreihen

$$h = L / 40$$

mit Ausnahme derjenigen des Modells C15, das versehentlich mit

$$h = \lambda / 40$$

untersucht worden ist.

2. Wellenlänge: Es wurden insgesamt 5 verschiedene Wellenlängen für jedes Modell erzeugt, deren Wellenlängen bezogen auf die Modelllänge folgende Werte hatten

$$\lambda / L: 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 \text{ und } 2.00 .$$

Das Modell bewegt sich stets senkrecht gegen die Wellen des zweidimensionalen regelmäßigen Seegangs. Modelle im achterlichen Seegang sind nicht getestet worden.

Um das Gesamtbewegungsverhalten eines Modells im Seegang festzuhalten, sind von den Modellen

$$B8, \quad C1 \quad \text{und} \quad C9$$

Filmaufnahmen (16 mm - Schmalfilm) hergestellt worden.

Zu diesem Komplex können die Arbeiten von Breslin und Eng [1], Gerritsma und Smith [3], van Mater [4], Stefan [6] und

Vossers und Swaan[8] als Vergleich und Ergänzung herangezogen werden.

Zusätzlich zu den Messungen sind noch alle untersuchten Fälle nach einem von Grim [3a] entwickelten Programm durchgerechnet worden. Die nach der strip-method erhaltenen theoretischen Resultate sind in den typischen Fällen vergleichend den experimentellen Ergebnissen in Diagrammform gegenübergestellt.

Da die Massenverteilung der Länge nach der Modelle nicht bekannt ist, wurde der Trägheitsradius K_{yy} nach der folgenden Formel bestimmt

$$(K_{yy}/L)^2 = 1.05 \frac{\int_{-1}^{+1} \sigma(\xi) \xi^2 d\xi}{\int_{-1}^{+1} \sigma(\xi) d\xi}$$

4.1. Zu messende Größen und Meßmethoden

Da das Modell als starrer Körper im Seegang zu Bewegungen bezüglich seiner 6 Freiheitsgrade angeregt wird, sind neben der Widerstandserhöhung infolge des Seegangs auch dessen maximale Bewegungs- und Beschleunigungsamplituden interessant. Die Meßapparatur zeigt Fig.3 . Während des Versuchs wurde das Modell durch ein Hahnepot geradeausgeführt. Dadurch entfallen von den 6 möglichen Schwingungsarten zwei. Da die Schwoj- und Rollbewegungen keine Rolle spielen, werden nur die Amplituden der

Tauchbewegung
und Stampfbewegung gemessen.

1. Widerstandsversuch: Analog zu dem Abschnitt 3.1. werden die folgenden Größen gemessen:

R_T der Gesamtwiderstand in Kp ,
 v die Modell- bzw. Wagengeschwindigkeit in m/sec ,
 φ die Amplituden der Stampfbewegung in Grad,

- Z die Amplituden der Tauchbewegung in m,
 \ddot{Z} die Amplituden der Tauchbeschleunigung in m/sec^2 ,
 $Z_{v,h}$ die Amplituden der Bewegung des vorderen
und hinteren Lotes in m und
 Z_{rel} die Relativbewegung des Vorschiffes (Spt.16
und 18) gegen die Wasseroberfläche in m.

Messung des Gesamtwiderstandes R_T :

Wie aus der Prinzipskizze der Meßapparatur hervorgeht (Fig.3), wurde der Gesamtwiderstand der im Abstand von $1/6L$ vom Hauptspant auf O.K.Deck angreifend gedacht wird, wieder aufgeteilt in ein Grobgewicht G und ein Feingewicht $\pm \Delta G$, das mittels eines Ringdynamometers D gemessen wurde, so daß

$$R_T = G \pm \Delta G$$

ist. Damit das System nicht Surgebewegungen ausführt, sind die Längsbewegungen durch eine Dämpfungsapparatur gedämpft worden, die außerdem noch die Aufgabe hatte, Wagenschwingungen von dem Ringdynamometer fernzuhalten.

Messung der Geschwindigkeit v:

Da das Modell praktisch starr mit dem Schleppwagen verbunden war, kann die Modellgeschwindigkeit der Wagengeschwindigkeit gleichgesetzt werden, die in üblicher Weise (Abschn. 3.1.) gemessen worden ist.

Messung der Stampf- und Tauchbewegung:

Hierfür wurde erstmals in der HSVA eine elektrische Methode benutzt. Die Vertikalbewegung des Modells wird durch 2 leichte, fast trägheitsfreie Stangen, die in den Punkten A und B drehbar am Modell befestigt sind, auf zwei Doppelpotentiometer übertragen. Sind die Potentiometer hoch genug über dem Modell, dann macht sich eine geringe Längsbewegung nicht mehr als zusätzliche, das Ergebnis verfälschende Vertikalbewegung bemerkbar. Die Bewegungsamplituden sind den Spannungen der Potentiometer U_a und U_b wie folgt proportional:

$$\begin{aligned} \text{Tauchbewegung am Bug} & \sim U_a \\ \text{Tauchbewegung am Heck} & \sim U_b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tauchbewegung im Hauptspant} &\sim \frac{U_a + U_b}{2} \\ \text{und Stampfbewegung} &\sim \frac{U_b - U_a}{L} \end{aligned}$$

Die Analogwerte wurden von einem von Herrn Luft (HSVA) entwickelten Analogrechner erzeugt und mit einem Visicorder schriftlich fixiert.

Messung der Tauchbeschleunigung:

Die Tauchbeschleunigung \ddot{Z} im Hauptspant wurde mit einem Donner-Beschleunigungsmesser gemessen und auf einem Sefram-Schreiber registriert.

Messung der Relativbewegung des Vorschiffes gegen die Wasseroberfläche:

Die Relativbewegung des Vorschiffes wurde an zwei Stellen (Spt. 16 und 18) mittels zweier Feinsilberstreifen, die durch die Wasseroberfläche kurzgeschlossen werden, gemessen. Der Widerstand der Silberstreifen, die 5 mm breit, 0.2 mm dick und 20 mm von einander entfernt waren, ist in etwa der Austauchung des Modells proportional. Die Aufzeichnung übernahm der Visicorder.

2. Propulsionsversuch:

Diese Versuche unterscheiden sich nur in der Messung von Schub, Drehmoment und Drehzahl der Propeller von den Widerstandsversuchen. (s. Abschn. 3.1)

4.2. Widerstandsversuche und deren Auswertung

Alle gemessenen Größen sind in geeigneter Weise dimensionslos gemacht (s. Vossers [8]) und als Funktion der Froudeschen Zahl mit dem Verhältnis λ/L als Kurvenparameter graphisch aufgetragen worden. Dabei sind die Diagramme der Bewegungsmessungen stets so aufgebaut, daß sich in Rechnung und Messung jeweils die folgenden Modelle gegenüberstehen:

C1 und C11

(B/T - Variation)

C12 und C14 (φ - Variation) und
C10 und C7 (C_{ψ} - Variation)

Dadurch wird ein Vergleich der Varianten innerhalb einer Variation erleichtert.

1. Amplituden des Stampfwinkels ψ :

Die Stampfamplitude ψ wird zweckmäßigerweise mit der größten Wellenschräge s dimensionslos gemacht, d.h.

$$\bar{\psi} = \frac{\psi}{2\pi \bar{h}/\lambda} = \frac{40}{\pi} \psi \lambda/L$$

Die Diagramme 52a bis 52d zeigen $\bar{\psi}=\bar{\psi}(\lambda/L, Fr)$ in Parameterdarstellung als Funktion der Variablen Fr .

2. Amplituden der Tauchbewegung z im Hauptspant:

Die Tauchamplitude z wird mit der Wellenamplitude $\bar{h}=L/80$ dimensionslos gemacht, d.h.

$$\bar{z} = \frac{80 \cdot z}{L}$$

Die Diagramme 53a bis 53d zeigen $\bar{z}=\bar{z}(\lambda/L, Fr)$ in Parameterdarstellung als Funktion der Variablen Fr .

3. Relativbewegung z des Vorschiffes zur Wasseroberfläche:

Die Relativbewegung z ist ebenfalls mit $\bar{h}=L/80$ dimensionslos gemacht worden und in Parameterdarstellung als Funktion der Variablen Fr in den Diagrammen 54a bis 54d aufgetragen worden. Gleichzeitig ist der Tiefgang eingezeichnet worden. Die Gerade $z = T_{CWL}$ gibt an, daß ab hier das Vorschiff auszutauchen beginnt und erhöhte Gefahr für Slamming besteht.

4. Bewegungsamplituden z im vorderen und hinteren Lot:

Auch die Bewegungsamplituden z , die mit $\bar{h}=L/80$ dimensionslos gemacht worden sind, wurden als Funktionen der Variablen Fr in Parameterdarstellung in den Diagrammen 55a bis 55e aufgetragen.

5. Amplituden der Tauchbeschleunigung \ddot{z} im Hauptspant:

Die Beschleunigungsamplituden sind mit der Erdbeschleu-

nigung g dimensionslos gemacht worden und als Funktion der Froudeschen Zahl in Parameterdarstellung in den Diagr. 56a bis 56b graphisch aufgetragen worden. Die Messungen zeigen deutlich, daß die Beschleunigung von $0.4g$ nur unwesentlich überschritten wird.

6. Das maximale Biegemoment im Hauptspant:

Die Kenntnis des maximalen Biegemomentes, das im Hauptspant eines Schiffes auftritt, welches sich in einem regelmäßigen Seegang bewegt, ist für die Bemessung der Längsfestigkeit des Schiffskörpers von großer Wichtigkeit. Da das Biegemoment am Modell nicht gemessen werden konnte, wurde es mit Hilfe eines ALGOL-Programms von Grim gerechnet und in der Form

$$M^+ = M / (\varrho \cdot g \cdot \bar{h} \cdot L^2 \cdot B)$$

als Funktion der Froudeschen Zahl in Parameterdarstellung der typischen Vertreter der C_V -, φ -, resp. B/T-Variation, in dem Diagr. 57 graphisch aufgetragen.

Als Ergebnis ergibt sich, daß das größte Moment im gesamten Geschwindigkeitsbereich bei $\lambda/L = 1.00$ zu erwarten ist.

7. Widerstandszunahme in regelmäßigem Seegang:

Im Gegensatz zu Vossers und Swaan (8) ist hier die Widerstandszunahme R auf das Displacement bezogen worden. Der Ausdruck

$$\frac{\varepsilon_{R\lambda}}{\varepsilon_R}$$

gibt an, um wieviel sich der Widerstandsbeiwert $\varepsilon_{R\lambda}$ im Seegang gegen ε_R im glatten Wasser erhöht. Die Benutzung der Diagramme setzt allerdings die Kenntnis von ε_R voraus. Das Verhältnis ist ebenfalls als Funktion der Froudeschen Zahl in Parameterdarstellung in den Diagrammen 58a bis 58d graphisch aufgetragen worden.

4.3. Propulsionsversuche und deren Auswertung

Mit den Modellen B8, C1 und C9 sind Propulsionsversuche in regelmäßigem Seegang durchgeführt worden. Der Vergleich

der Modelle B8 und C1 ist gleichzeitig ein Vergleich des Verhaltens der Kreuzer- und Spiegelheckform im Seegang. Gemessen wurden das Propellerdrehmoment, die Drehzahl des Propellers, der Schub, die Tauchbeschleunigung, die Tauchbewegung und der Stampfwinkel.

Diagramm 61a:

In diesem Diagramm ist die Leistungszunahme von Zweischraubenschiffen

$$\Delta N = \frac{N_{\text{Seegang}} - N_{\text{glattes Wasser}}}{\rho G B^2 \bar{h}^2 v/L}$$

als Funktion der Froudschen Zahl in Parameterdarstellung aufgetragen worden

Diagramm 61b:

In diesem Diagramm ist die Schubzunahme von Zweischraubenschiffen

$$\Delta S = \frac{S_{\text{Seegang}} - S_{\text{glattes Wasser}}}{\rho g \bar{h}^2 B^2/L}$$

und die Tauchbeschleunigung

$$\ddot{\bar{z}} = \ddot{z} / g$$

als Funktion der Froudschen Zahl in Parameterdarstellung aufgetragen worden

Diagramm 61c:

In diesem Diagramm ist die Amplitude der Tauchbewegung

$$\bar{z} = z / \bar{h}$$

und diejenige der Stampfbewegung

$$\bar{\psi} = \psi / (2\pi \cdot \bar{h}/\lambda)$$

als Funktion der Froudeschen Zahl in Parameterdarstellung graphisch aufgetragen worden.

5. Bewegung eines 120-m-Schiffes im unregelmäßigen Seegang

Wenn auch keine Experimente im unregelmäßigen Seegang durchgeführt worden sind, läßt sich auch aus den Rechenergebnissen ein Überblick über das Verhalten eines Schiffes im unregelmäßigen Seegang gewinnen. Die Rechnungen wurden mittels eines Programms nach Grim für ein 120-m-Schiff im unregelmäßigen Seegang des Nordatlantiks durchgeführt, und zwar für die Geschwindigkeiten $Fr: 0.25, 0.35$ und 0.45 .

Diagramm 59a:

zeigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Relativbewegung z [m] zur Wasseroberfläche

Diagramm 59b:

zeigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Beschleunigung \ddot{z} [m/sec²] im vorderen und hinteren Lot, sowie im Hauptspant und des Biegemomentes

$$M = M^+ \cdot \rho \cdot g \cdot L^2 \cdot B \cdot T$$

im Hauptspant.

6. Rollversuche

Da nicht nur die geometrischen Parameter φ , C_V und B/T und die Lage des Gewichtsschwerpunktes der Höhe nach bei der Dämpfung der Rollschwingung eine Rolle spielen, sondern auch die Geschwindigkeit, und vor allem die schwingungsdämpfenden Elemente, wie Schlingerkiel und Flossen, sind Rollversuche mit den Modellen

$$C3, C5, C16 \quad (B/T\text{-Variation})$$

ausgeführt worden.

Von den geometrischen Parametern spielt das B/T -Verhältnis die größte Rolle. Aus diesem Grunde und aus Gründen des Versuchsumfanges wurde nur die B/T -Variation ausgewählt.

Da die Gewichtsverteilung sowohl der Länge, als auch

der Höhe nach unbekannt ist, wurde für die Größe der Anfangsstabilität \overline{MG} der Erfahrungswert

$$\overline{MG} = 0.08 \cdot B$$

den Versuchen zu Grunde gelegt.

Als Schwingungsdämpfendes Element wurde ein
Schlengerkiel

untersucht, der eine durchlaufende Länge von $0.3L$ und eine Steghöhe von 24 mm hatte. Farbanstrichversuche zur Feststellung der günstigsten Lage der Schlengerkiele sind nicht gemacht worden. Die Kiele sind in proportionaler Lage zu denjenigen des Stülkenzerstörers bei allen drei Modellen angebracht worden, wie aus Fig.4 ersehen werden kann.

Zur Bestimmung des Einflusses der Fahrtgeschwindigkeit auf die Dämpfung, sind die Versuche mit und ohne Schlengerkiele bei den folgenden Geschwindigkeiten untersucht worden:

$$Fr: \quad 0, \quad 0.2, \quad 0.3 \quad \text{und} \quad 0.4$$

6.1. Durchführung der Rollversuche

Die Versuche wurden in dem kleinen Tank der HSVA durchgeführt, der folgende Abmessungen hat:

Tanklänge	80 m
Tankbreite	5 m
Tanktiefe	2.5m

Bei den Versuchen $Fr \neq 0$ wurden die Modelle durch einen Draht der etwa 10 cm über der CWL angriff (s. Fig.3) geradeausgeführt. Der vordere Draht war fest mit dem Schleppwagen verbunden, der hintere wurde durch ein Gewicht **K** steif gehalten.

Das periodische, erregende Moment, das im statischen Zustand eine Neigung von 2^0 bei allen Modellen erzeugte, regte das Modell zu Rollschwingungen an, deren Größe durch eine Horizontalkreislanlage gemessen und anschließend registriert wurde. Die Resonanzkurven, die in dem Diagramm 62 dargestellt

sind, wurden durch Änderung der Frequenz des erregenden Momentes erreicht.

Aus versuchstechnischen Gründen mußte der Wasserspiegel für das Experiment mit Modell C16 um 0.5m gesenkt werden. Außerdem führte das Modell bei $Fr \neq 0$ eine nicht vermeidbare Gierbewegung von etwa ± 2 bis $\pm 6^\circ$ aus.

6.2. Ergebnisse

Diagramm 62 zeigt

$$\varphi = \varphi (Fr, \tau)$$

den Rollwinkel φ als Funktion der Rollperiode τ und der Froude-
sehen Zahl als Parameter. In der Tabelle 125 sind nocheinmal
die maximalen Rollamplituden φ_{\max} und die Perioden τ , bei de-
nen φ_{\max} auftritt, und die am Stand bei kleinen Rollwinkeln
gemessene Rolleigenperiode τ_0 zusammengefaßt worden.

Aus dem Diagramm folgt deutlich die Abhängigkeit der
Lage des maximalen Rollwinkels φ_{\max} von dem Verhältnis B/T .
Der Absolutbetrag von φ_{\max} ändert sich allerdings für den
Fall - Modell mit Schlingerkiel - kaum mit dem B/T -Verhältnis.
Bei dem Fall - Modell ohne Schlingerkiel - ist jedoch eine Ab-
hängigkeit zu finden, und zwar sind die Amplituden φ_{\max} des
größten B/T am kleinsten.

7. Slammingversuche

Mit den Modellen

C3, C5, C16 (B/T -Variation)

sind Slammingversuche im regelmäßigen Seegang geplant gewesen
und auch mit Modell C16 durchgeführt worden. Leider konnten
die Versuche mit C3 und C5 aus verwaltungstechnischen Gründen
bis zur Stunde noch nicht durchgeführt werden. Da auch eine
Kraftmeßdose von insgesamt drei Dosen während der Versuche mit
dem Modell C16 ausgefallen war, ist eine Auswertung dieses Ver-
suches unterblieben.

8. Literaturverzeichnis

- /1/ Breslin, J., P. King Eng 'Resistance and Seakeeping Performance of New High Speed Destroyer Designs'
Davidson Laboratory Report 1082, June 1965
- /2/ Gertler, M. 'A Reanalysis of the Original Test Data for the Taylor Standard Series'
DTMB Report Nr. 806, March 1954
- /3/ Gerritsma, J. Smith, W., E. 'Full Scale Destroyer Motion Measurements'
Report Nr. 142, March 1966
Laboratorium voor Scheepsbouwkunde
Technische Hogeschool Delft
- /3a/ Grim, O. 'A Method for a More Precise Computation of Heaving and Pitching Motions Both in Smooth Water and in Waves'
Third Symposium on Naval Hydrodynamics
- /4/ van Mater, P., R. 'Preliminary Evaluation of a Large-Bulb Ship for High-Speed Operation in Smooth Water and in Rough Seas'
Davidson Laboratory Report Nr. 834
- /5/ Ochi, K. 'Model Experiments on the Effect of a Bulbous Bow on Ship Slamming'
DTMB Report Nr. 1360, Oct. 1960
- /6/ Stefun, G., P. 'The Influence of Ship on Pitch and Heave Amplitudes'
DTMB Report Nr. 1235, Sept. 1958
- /7/ Taylor, D., W. 'Influence of the Bulbous Bow on Resistance'
Marine Engineering & Shipping Age, Sept. 1923
- /8/ Vossers, G. Swaan, W., A. 'Some Seakeeping Tests with a Victory Model'
Publication Nr. 183 of the N.S.M.B.
Vol. 7 - - Nr. 69, May 1960
- /9/ Weinblum, G. 'Schiffsform und Widerstand'
Mitteilg. d. Preuß. Versuchsanstalt, Berlin
- /10/ Weinblum, G. 'Theorie der Wulstschiffe'
- /11/ Yeh, Hugh, Y., H. 'Series 64 Resistance Experiments on High-Speed Displacement Forms'
Marine Technology, July 1965 (SNAME)

9. Zusammenstellung der Figuren, Diagramme, Tabellen und Abbildungen

9.1. Zusammenstellung der Figuren

- Fig. 1 Koordinatensystem
- Fig. 2 Prinzipskizze der Variation der Spantarealkurve
- Fig. 3 Prinzipskizzen der Versuchsanordnung
- Fig. 4 Spantenriß der Modellserie C
- Fig. 5 Spantenriß der Modellserie b
- Fig. 6 Vor- und Hinterschiffskonturen der Modellserien B und C
- Fig. 7 Anordnung von Ruder und Propeller
- Fig. 8 Lage der Wellen
- Fig. 9 Rotationssymmetrische Wulstkörper der Modelle C1 und C8

9.2. Zusammenstellung der Diagramme

- Diagr. 1 Spantarealkurven der Modellserie B
- Diagr. 2 Spantarealkurven der Modellserie C und charakteristische Funktion
- Diagr. 3 Spantarealkurven der Modelle C8 und C9
- Diagr. 4 Freifahrtdiagramm der Modellpropeller

Widerstandsdiagramme der Serie C

- Diagr. 5 - 10 B/T - Variation
- Diagr. 11 - 13 - Variation
- Diagr. 14 - 16 C_v - Variation
- Diagr. 17 Modell C1 mit angesetztem Keil am Heck
- Diagr. 18 Modell C1 Schiff-Wulst-Kombiantio
- Diagr. 19 Modell C5 Variation der Spiegelbreite
- Diagr. 20 Vergleich der Modelle C1 und C2, Variation der Verdrängungsschwerpunkte der Länge nach
- Diagr. 21 Modell in verschiedenen Ausgangsschwimmlagen
- Diagr. 22 Modell C8 auf verschiedenen Tiefgängen und mit den Wulstkörpern I und II
- Diagr. 23 Modell C9 mit verschiedenen Änderungen und Ausgangsschwimmlagen

Widerstandsdiagramme der Serie B

- Diagr. 24 - Variation
- Diagr. 25 B/T - Variation, Modell B13 in verschiedenen Ausgangsschwimmlagen

Diagr. 26 Vergleich von Kreuzerheck (B8) und Spiegelheck (B5),
Optimalform B10, Modell B5 mit angesetzttem Keil am
Heck

Diagr. 27 Modell B12 in verschiedenen Ausgangsschwimmlagen

Diagr. 27a Vergleich der beiden Formen der Serien B und C
(B5 und C2)

9.3. Zusammenstellung der Diagramme der parallelen Tiefertauchung und des Trimmwinkels

Diagramme der Serie C

Diagr. 28 - 33 B/T - Variation

Diagr. 34 - 36 - Variation

Diagr. 37 - 39 C_{ψ} - Variation

Diagr. 41 Trimm und Tauchung der Schiff-Wulst-Kombiantion
des Modells C1

Diagr. 42 Trimm und Tauchung des Modells C5, Variation der
Spiegelbreite

Diagr. 43 Vergleich der Modelle C1 und C2, Variation des
Verdrängungsschwerpunktes der Länge nach

Diagr. 44 Modell C4 in verschiedenen Ausgangsschwimmlagen

Diagr. 45 Modell C8 auf verschiedenen Tiefgängen und mit den
Wulstformen I und II

Diagr. 46 Modell C9 mit verschiedenen Änderungen und Aus-
gangsschwimmlagen

Diagramme der Serie B

Diagr. 47 - Variation

Diagr. 48 B/T - Variation Modell B13 in verschiedenen Ausgangs-
schwimmlagen

Diagr. 49 Vergleich von Kreuzerheck (B8) und Spiegelheck (B5),
Optimalform B10, Modell B5 mit angesetzttem Keil am
Heck

Diagr. 50 Modell b12 in verschiedenen Ausgangsschwimmlagen

Diagr. 51 Vergleich der Formen der beiden Serien B und C
(B5 und C2)

9.4. Zusammenstellung der Diagramme der Bewegungsamplituden der Modelle der Serie C in regelmäßigem Seegang

Diagramme 52 Gerechnete und gemessene Amplituden des Stampf-
winkels bezogen auf die maximale Wellenschräge

- Diagramme 53 Gerechnete und gemessene Amplituden der Tauchbewegung im Hauptspant bezogen auf die maximale Wellenamplitude
- Diagramme 54 Gerechnete und gemessene Relativbewegung des Vorschiffes zur Wasseroberfläche bezogen auf die maximale Wellenamplitude
- Diagramme 55 Gerechnete und gemessene Bewegungsamplituden im vorderen und hinteren Lot bezogen auf die maximale Wellenamplitude
- Diagramme 56 Gemessene Amplituden der Tauchbeschleunigungen im Hauptspant bezogen auf die Erdbeschleunigung

9.5. Zusammenstellung der Diagramme der Widerstandszunahme im regelmäßigen Seegang und des gerechneten Biegemomentes

Diagr. 57 Gerechnetes Biegemoment im Hauptspant im regelmäßigen Seegang

Diagramme 58 Widerstandszunahme im regelmäßigen Seegang

9.6. Zusammenstellung der Diagramme über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Bewegungen und Momente der Großausführung der Serie C in unregelmäßigem Seegang des Nordatlantik

Diagr. 59a Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Relativbewegung zur Wasseroberfläche an den Schiffsenden und im Hauptspant bei der Fahrt eines 120m Schiffes in unregelmäßigem Seegang des Nordatlantik

Diagr. 59b Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Beschleunigung an den Schiffsenden und im Hauptspant, sowie des Biegemomentes im Hauptspant bei der Fahrt eines 120m Schiffes in unregelmäßigem Seegang des Nordatlantik

9.7. Zusammenstellung der Diagramme der Propulsionsversuche in regelmäßigem Seegang

Diagr. 60 Vergleich von Kreuzer- und Spiegelheckform bezüglich Widerstand und Propulsion

Diagr. 61a Leistungszunahme von Zweischraubenschiffen in regelmäßigem Seegang

Diagr. 61b Schubzunahme und Tauchbeschleunigung von Zweischraubenschiffen in regelmäßigem Seegang

Diagr. 61c Amplituden der Tauch- und Stampfbewegung von Zweischaubenschiffen in regelmäßigem Seegang

9.8. Zusammenstellung der Diagramme der Rollversuche

Diagr. 62 Der Rollwinkel als Funktion der Rollzeit mit und ohne Schlingerkiel

9.9. Zusammenstellung der Tabellen

Tabelle 1 Hauptkenndaten der Modelle der Serie C

Tabelle 2 Hauptkenndaten der Modelle der Serie B

Tabellen 3 Aufmaße der Spantarealkurven der Modelle der Serie B und C

Tabellen 4 - 17 Aufmaßtabellen der Modelle der Serie C

Tabellen 18 - 24 Aufmaßtabellen der Modelle der Serie B

Tabellen 25 - 118 Originale Meßdaten der Widerstands- und Bewegungsmessungen der Modelle der Serien B und C in glattem Wasser

Tabellen 119 - 124 Ergebnisse der Propulsionsversuche und Widerstandsversuche mit Anhängen in glattem Wasser

Tabelle 125 Maximale Rollamplituden und Rollzeiten

9. 10. Zusammenstellung der Abbildungen

Abb. 1 Wellenprofile an der Außenhaut der systematisch variierten Modelle

Abb. 2 Wellenprofile an der Außenhaut der Heckvariation

Abb. 3 Wellenprofile an der Außenhaut des Modells C1 mit und ohne Wulst

Abb. 4 Wellenprofile an der Außenhaut des Modells C1 mit und ohne Wulstform A

Abb. 5 Wellenprofile an der Außenhaut verschiedener Formen