

SCHIFFBAUFORSCHUNG

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE MITTEILUNGEN

Herausgegeben vom VEB Kombinat Schiffbau, Rostock

in Zusammenarbeit mit der Sektion Schiffstechnik der Wilhelm-Pieck-Universität, Rostock

Inhaltsverzeichnis

- Lorenz, Ortwin:
30 Jahre Schiffbauversuchsanstalt der Deutschen Demokratischen Republik
- Wagner, Klaus
Effektive Wechselbeziehungen zwischen Erzeugnisforschung und Schiffbauversuchswesen – Voraussetzung für die Entwicklung optimaler Propulsionsanlagen
- Gatzer, Hans
Dreizehn Jahre internationale Wissenschaftskooperation Wilhelm-Pieck-Universität Rostock – Schiffbauversuchsanstalt des VEB Kombinat Schiffbau – Wissenschaftliches Forschungsinstitut A. N. Krylow Leningrad
- Vollheim, Reiner
Untersuchungen zur Entwicklung der Sekundärströmung in einer Schiffsgrenzschicht
- Selke, Wolfgang
Experimentelle Bestimmung der hydrodynamischen Flügelverstellmomente von Verstellpropellern
- Mewis, Friedrich und Hans-Jürgen Heinke
Untersuchungen zur Umströmung eines Modells der „Serie 60“ mit $C_B = 0,60$
- Schmidt, Dietrich
Die Reduzierung der propellererregten Schwingungen durch nachstrombeeinflussende Änderungen am Hinterschiff
- Thiel, Rüdiger
Leistungsprognosen für Schiffe unter Einbeziehung von Seegang und Wind
- Schroeder, Günter
Eine Einrichtung für Modellversuche an Propellern für Querstrahlruder
- Peters, Hans-Erhard
Ein einfaches Modell für Düsenpropeller
- Nickel, Renate
Ein potentialtheoretisches Modell zur Berechnung der Umströmung von beliebigen nichtrotationssymmetrischen Propellerdüsen in nichtrotationssymmetrischer stationärer Anströmung
- Kühne, Matthias und Wolfgang Pagel
Optimierung von Vorschiffsformen mit Hilfe der Evolutionsstrategie
- Puls, Dieter
Über Dreh- und Querbewegungen von Schiffen in tiefem und flachem Wasser
- Bednarzik, Rudolf
Zur Berücksichtigung des Reynoldszahl- und Rauigkeitseinflusses auf die Propellerfreifahrtcharakteristiken
- Jahn, Klaus
Geschwindigkeits- und Druckverhältnisse im Kavitationsversuchsgerät „Rotierende Scheibe“

23. Jahrgang (1984), Heft-Nr. 3, S. 117–196

ISSN 0036–6056

3

1984

sung einschließlich der Entstehung von Längswirbeln zu nennen als auch das sehr weitmaschige Netz zur Berechnung der Potentialströmung.

Zusammenfassung

Das vorgestellte Verfahren gibt die Schiffsumströmung über $\frac{3}{4}$ der Schiffslänge in guter Näherung wieder. Es ist geeignet, die Ablösungsgefahr im vorderen Bodenbereich, an der vorderen und hinteren Schulter und auch im oberen Totholzbereich vorherzubestimmen und somit während des Entwurfstadiums zum hydrodynamisch erforderlichen „Glätten“ der Schiffslinien zu dienen. Auch der berechnete Reibungswiderstand weicht nur wenig von dem Integral der gemessenen Schubspannungsverteilung auf der Oberfläche ab, denn die Schubspannung ist im Vorschiffsbereich am größten. Die Berechnung des Druckwiderstandes von Schiffsrümpfen ist beim gegenwärtigen Kenntnisstand über die Vorgänge innerhalb der turbulenten Grenzschicht ebenso unmöglich, wie die Berechnung der Propellerzuströmung. Es fehlt natürlich nicht an Versuchen, diese Aufgaben mittels empirischer Annahmen zu lösen. Die Verbesserung

der rechnerischen Vorhersage der Hinterschiffsumströmung hängt von dem Fortschritt bei der Erforschung der Sekundärströmung und der räumlichen Ablösung ab.

Literatur

- [1] *Albring, W., Schindler, G.*: Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung auf Rotationskörpern und Schiffsrümpfen. *Maschinenbautechnik*, Berlin 23 (1974) 4, S. 290—294, 304.
- [2] *Günther, B.*: Berechnung von Wandstromlinien und Grenzschichten. Unveröffentlichter Bericht der TU Dresden, Bereich Strömungstechnik 1982.
- [3] *Hauke, W.*: Untersuchung der reibungsbehafteten Umströmung an Schiffsmoellen im Windkanal. *Forschungsarbeiten zur Strömungsturbulenz*. Berlin: Akademie-Verlag 1979.
- [4] *Bur, K.*: Näherungsweise Berechnung der Sekundärströmung in einer Wandgrenzschicht. Unveröff. Bericht der TU Dresden, Bereich Strömungstechnik 1983.
- [5] *Werner, R.*: Analyse der Sekundärströmung in Wandgrenzschichten. Unveröffentlichter Bericht der TU Dresden, Bereich Strömungstechnik 1984.
- [6] *Van den Berg, B.*: Investigations of three-dimensional incompressible turbulent boundary layers. Report FO 750, Delft 1976.
- [7] *Michel, H. L.*: Grenzschichtmessung am Schiffsdoppelmodell M5. Unveröff. Bericht der TU Dresden, Bereich Strömungstechnik 1978.
- [8] *Krause, E.*: Experimentelle und theoretische Untersuchungen an dreidimensionalen Wandgrenzschichten. Tagungsband des Mechanik-Kongresses in Karl-Marx-Stadt (31. 10.—4. 11. 1983), Institut für Mechanik der ADW Berlin.

Experimentelle Bestimmung der hydrodynamischen Flügelverstellmomente von Verstellpropellern

Dipl.-Ing. *Wolfgang Selke*, VEB Kombinat Schiffbau Rostock, Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam

1. Einleitung

Der zunehmende Einsatz von Verstellpropellern für Schiffsantriebe bedingt zu den üblichen Anforderungen wie Aufnahme einer vorgegebenen Leistung, Erzeugung eines möglichst hohen Schubes, günstige Kavitationseigenschaften, geringe Druckimpulserregung und möglichst geringe Belastungsschwankungen, eine wesentliche zusätzliche Komponente, nämlich die Gewährleistung der Verstellbarkeit der Propellerflügel unter allen Einsatzbedingungen im gesamten Arbeitsbereich.

Das vom Verstellmechanismus eines Verstellpropellers aufzubringende Gesamtmoment

$$Q = Q_H + Q_F + Q_R \quad (1)$$

besteht aus den Anteilen

hydrodynamisches Flügelverstellmoment Q_H
 Flichkraftmoment Q_F
 Reibungsmoment Q_R

die in unterschiedlicher Weise zur Bildung des Gesamtmomentes beitragen.

Das hydrodynamische Flügelverstellmoment wird überwiegend durch die den Schub erzeugenden Auftriebskräfte am Propellerflügel bewirkt. Dabei haben die geometrische Gestaltung des Flügelumrisses, die Lage der Verstellachse und die Flächenverteilung vor und hinter dieser Achse und der daraus und aus der Auftriebsverteilung resultierende Lastangriffspunkt einen entscheidenden Einfluß auf die absolute Größe und die Wirkungsrichtung des Verstellmomentes.

Das Flichkraftmoment hängt in seiner Größe von der Flügelmasse, der Umfangsgeschwindigkeit und der Massenverteilung bezüglich der Verstellachse ab.

Es versucht stets, die Flügelsteigung in Richtung Nullsteigung zu verstellen.

Das Reibmoment wirkt jeder Bewegungsrichtung hemmend entgegen. Während die beiden letztgenannten Anteile am Gesamtverstellmoment eines Verstellpropellers relativ ge-

nau rechnerisch erfaßbar sind, ist man bei der Ermittlung des hydrodynamischen Verstellmomentes auf theoretische Rechenverfahren angewiesen, deren Treffsicherheit, besonders bei extremen Bedingungen, durch Modellversuche zu überprüfen sind. Es wurden daher experimentelle Verfahren entwickelt, um der Lösung des Problems näherzukommen und die Ergebnisse der Nachrechenverfahren auf diese Art und Weise überprüfen und durch Algorithmenänderung verbessern zu können.

Problemlösung

Aus der Literatur bekannt war die von *Bossow* [1] entwickelte Meßnabe zur Bestimmung der hydrodynamischen Flügelverstellmomente. Sie arbeitete auf mechanischem Wege und bestimmte die Flügelverstellmomente als Summenmessung der zwei gegenüber angeordneten Propellerflügel. Für die Versuchsdurchführung war man an eine Wasserrinne gebunden, in der zur Realisierung des gesamten Fortschrittsgradbereiches die Wasserumlaufgeschwindigkeit reguliert wurde. Das Meßobjekt stand still, um die Ablesung mittels Stroboskopbeleuchtung ermöglichen zu können. Neben den in [1] dargelegten Mängeln in der Meßtechnik und der Meßgenauigkeit kommt hinzu, daß die mit der Anzahl der Propellerflügel verbundene gegenseitige Beeinflussung und die daraus resultierende unterschiedliche hydrodynamische Belastung des Einzelflügels nicht erfaßbar sind.

Die Aufgabe für die Schiffbau-Versuchsanstalt bestand also darin, eine Meßeinrichtung zu entwickeln, die einerseits für einen Routineversuchsbetrieb geeignet ist und andererseits die aus der Flügelzahl resultierenden Effekte erfaßbar macht. Damit war eindeutig der Weg in Richtung Messung am Einzelflügel vorgezeichnet.

Aus meßtechnischen Gründen kam nur eine elektrische Messung in Frage. Man entschied sich für Dehnungsmößstreifen als Meßwertgeber, womit gleichzeitig die Forderung nach absoluter Wasserdichtigkeit des Meßsystems gestellt war, deren Realisierung, wie die ersten Versuche zeigten, doch erhebliche Schwierigkeiten bereitete.

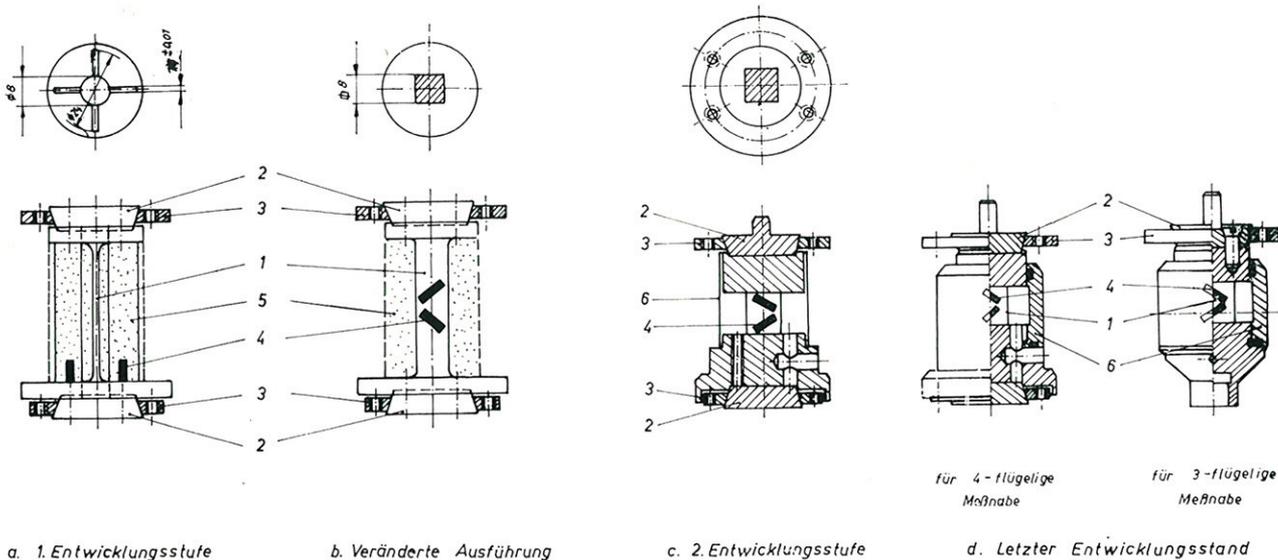


Bild 1. Torsionsmeßglieder
 1 Meßkörper, 2 Kegel, 3 Spannplatte, 4 Dehnungsmeßstreifen, 5 Plastischer Kitt, 6 Schutzmantel

Prinzip der Meßwertgeber

Da Verdrehkräfte an einem Meßwertgeber zu messen waren, wurde zunächst in Anlehnung an vorhandene elektrische Propellerdynamometer mit einem Torsionsmeßglied nach Bild 1a begonnen. Doch schon bald wurde aus fertigungstechnischen Gründen zu einem einfachen 4kt-Stab nach Bild 1b übergegangen.

Der Raum zwischen beiden Endscheiben wurde mit plastischem Kitt zum Feuchtigkeitsschutz der DMS ausgefüllt, was erhebliche Hystereserscheinungen zur Folge hatte und überdies auf die Dauer keinen 100%ig wirkenden Feuchtigkeitsschutz gewährleistete. Nach einer weiteren konstruktiven Änderung des Torsionsmeßgliedes wurde ein dünner Aluminiumzylinder als Schutzmantel eingeführt, der an beiden Endscheiben verklebt war (Bild 1c). Die Hystereserscheinungen blieben, während der Feuchtigkeitsschutz erheblich verbessert wurde, ohne jedoch voll befriedigen zu können, da der Mantel durch Korrosion allmählich zerstört wurde.

Eine endgültige Lösung wurde im Zusammenhang mit der Entwicklung drucksicherer Meßwertgeber für Versuche im Kavitationstunnel gefunden. Bild 1d zeigt den Aufbau eines solchen Torsionsmeßgliedes. Die gut gefettete, durch Rundring abgedichtete Stelle zwischen Mantel und Meßstab, hat bisher vernachlässigbar kleine Hystereserscheinungen hervorgerufen. Durch den abschraubbaren Mantel besteht im Bedarfsfalle die Möglichkeit der einfachen Trocknung der DMS, die nur noch eine dünne Schutzlackabdeckung haben.

Die DMS sind als Vollbrücke geschaltet. Durch entsprechende Widerstandsbeschaltung wird die Nullpunktdrift unterdrückt.

Prinzip der Meßnaben

Genaugenommen trifft der Name „Meßnabe“ nicht zu, da sie eigentlich nur Träger des Torsionsmeßgliedes ist. Da sie sich jedoch von den üblichen Klemmnaben insofern unterscheidet, als eine wassergeschützte Steckerverbindung und eine spezielle Nabenaufnahme- und -befestigung notwendig sind, hat sich dieser Name eingebürgert.

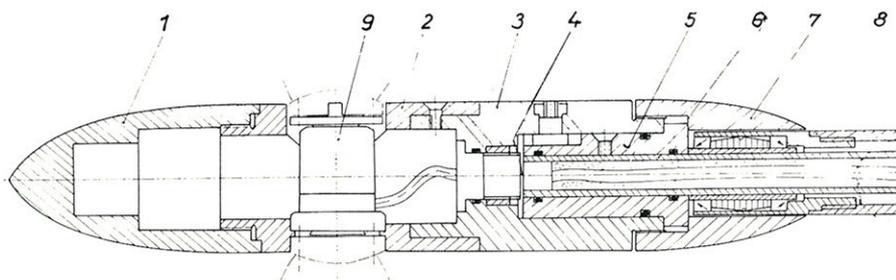
Als erste Entwicklungsstufe entstanden eine 4- und eine 5-flügelige Meßnabe zylindrischer Bauform mit einem Durchmesser von 90 mm, die auch für Versuche mit gegenläufigen Propellern mittels zweier Freifahrtkästen eingesetzt wurden.

Im Rahmen einer Angleichung an ein Naben-Durchmesser-Verhältnis von 0,3 für 240- bzw. 250 mm Modellpropeller, wie sie vorwiegend im Kavitationstunnel zu Versuchen benutzt werden, wurde eine 4-flügelige Nabe mit 75 mm Durchmesser in zylindrischer Bauform entwickelt. Dieser Durchmesser ließ eine 5-flügelige Variante nach obigem Entwurfsprinzip nicht mehr zu. Eine Weiterentwicklung dieser Nabe hinsichtlich besserer Strömungsverhältnisse im Flügelfußbereich ergab schließlich die 4-flügelige Standardmeßnabe nach Bild 2, wie sie für Versuche in der Schlepprinne verwendet wird.

Der Flügelfuß mit 40 mm Durchmesser entspricht den Standardabmessungen für Klemmnaben, wie sie für übliche Freifahrtversuche zur Anwendung kommen.

Zur Absicherung von Versuchen mit 3-flügeligen Propellern wurde eine Meßnabe gleicher Hauptabmessungen aber einem speziellen Nabenteil mit entsprechendem Meßglied entwickelt (Bild 3).

Geforderte Untersuchungen an einem 5-flügeligen Verstell-



1 Zulauf
 2 Nabe
 3 Nabenträger
 4 Steckverbindung
 5 Nabenkern
 6 Wellenleitung
 7 Ablauf
 8 Stevenrohr mit Wellenlager
 9 Torsionsmeßglied

Bild 2. Standardmeßnabe 4flüglig für Schlepprinne

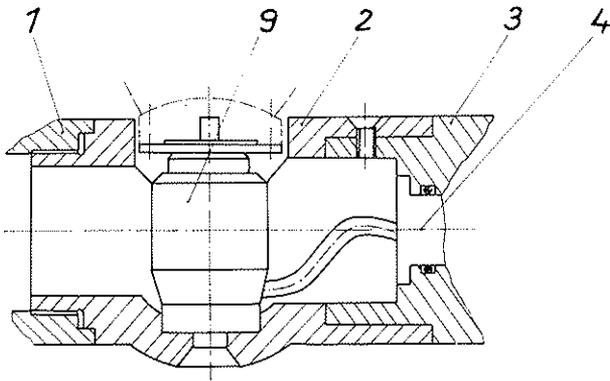


Bild 3. Standardmeßnabe 3flügelig für Schlepprinne

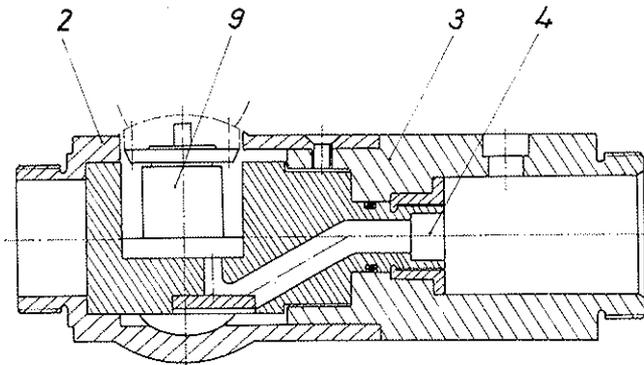


Bild 4. Meßnabe 2- bis 5flügelig für Schlepprinne

propeller führten unter Reduzierung des Flügelfußdurchmessers auf 36 mm mit einem am Nabenträger zentrisch befestigten Torsionsmeßglied zu der Möglichkeit, durch austauschbare Nabenteile Versuche mit 2, 3, 4 und 5 Flügeln durchzuführen, um so den Einfluß der gegenseitigen Beeinflussung hinsichtlich des Verstellmomentes meßtechnisch zu erfassen.

Die Nabe ist in Bild 4 dargestellt.

Vorgenannte Meßnaben sind für den Einsatz an einem Freifahrtkasten in der Schlepprinne bestimmt. Über ein in der Hohlwelle eingegossenes Kabel werden die Stromversorgung und die Meßwertübertragung mittels Schleifringen ermöglicht.

Der Freifahrtkasten ist in Bild 5 dargestellt. Meßgerät, Schleifringkörpergehäuse und Stevenrohr mit Wellenleitung sind auf einem Trägerfundament montiert, so daß dieser Teil auch komplett in ein Schiffsmodell gesetzt werden kann. Bei Einsatz eines entsprechenden Meßgliedes sind dann die

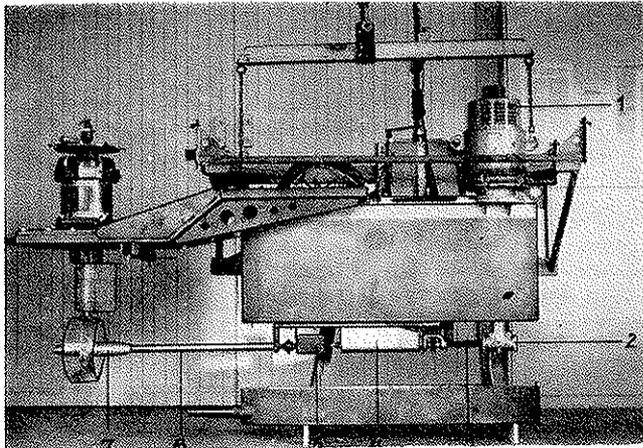


Bild 5. Freifahrtkasten FK 4
1 Antriebsmotor, 2 Winkeltrieb, 3 Kardanwelle, 4 Propellerdynamometer, 5 Schleifringkörpergehäuse, 6 Stevenrohr, 7 Meßnabe

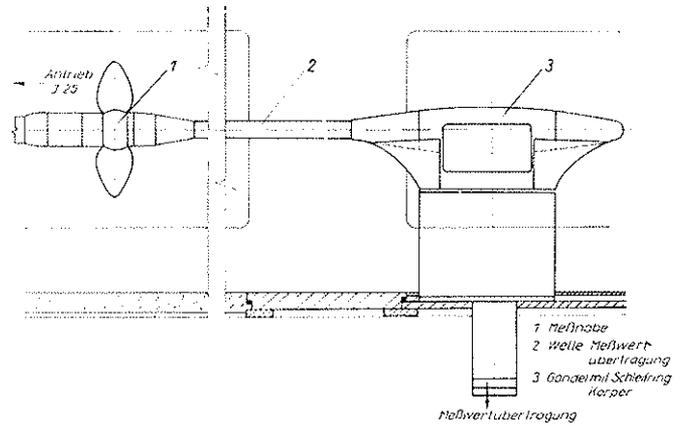


Bild 6. Flügelverstellmomentenmeßeinrichtung Kavitationstunnel

durch das Arbeiten des Propellers im Mitstromfeld des Modelles bewirkten instationären Kräfte am Einzelflügel meßbar.

Interessant ist natürlich, wie sich der Einfluß von Kavitation auf die hydrodynamischen Flügelverstellmomente auswirkt.

In [2] wird von *Bednarzik* über angewendete Nachrechenverfahren berichtet. Notwendige Voraussetzung zur modellmäßigen Messung dieser Effekte wurden durch eine entsprechende Meßeinrichtung geschaffen, die in Verbindung mit dem Propellerdynamometer J 25 am Kavitationstunnel der SVA Potsdam zum Einsatz gelangt (Bild 6).

Damit besteht die Möglichkeit, im Bereich positiver Fortschrittsgrade vom versuchstechnisch minimal zu realisierenden Fortschrittsgrad aufwärts die Flügelverstellmomente unter Kavitationseinfluß im Modellversuch zu messen. Die Konzeption der Meßnabe mußte auf die speziellen Belange des Kavitationstunnels umgestellt werden. Die stromabwärtsgelegene Anordnung des Schleifringkörpers zur Übertragung der Meßwerte aus dem Kavitationstunnel war notwendig, da die Befestigung der Propellerwelle an der Wellenleitung und die Konstruktion des Stevenrohres eine Kabelführung nach vorn nicht zuließen. Die Meßnabe ist in Bild 7 dargestellt. Zur Verfügung stehen eine 3- und eine 4-flügelige Ausführung für 40 mm Flügelußdurchmesser.

Meßtechnik

Die Meßglieder sind, wie bereits erwähnt, mit HL-DMS in Vollbrückenschaltung beschaltet.

Zur Stromversorgung dienen Gleichspannungsgeräte oder Trägerfrequenzverstärker.

Die Meßwerte werden auf Einlinienschreibern registriert. Das Prinzipschaltbild ist in Bild 8 wiedergegeben.

Zur Kalibrierung steht eine statische Eichvorrichtung zur Verfügung, auf der das Torsionsmoment durch symmetrische Belastung aufgebracht wird (Bild 9).

Um einwandfreie Meßergebnisse zu erhalten, wird die gesamte Meßkette vor jeder Versuchsdurchführung kalibriert. Der Isolationswiderstand sollte bei Versuchsbeginn 10^9 Ohm betragen. Messungen bis 10^6 Ohm sind jedoch noch ohne Meßwertverfälschung möglich.

Erprobung der Meßglieder

Alle entwickelten Meßglieder wurden vor ihrem Einsatz hinsichtlich Fehlzanzeige aus den Belastungen Schub, Drehmoment und Fliehkraft untersucht. Die Fehlergrößen werden im wesentlichen durch die Genauigkeit der Positionierung, aber auch unterschiedliche Widerstände der DMS bestimmt. Die sogenannten Einflußfaktoren wurden wie folgt experimentell ermittelt:

Analog ist der Einflußfaktor aus der Fliehkraft

$$K_3 = \frac{A \cdot C_{QHW}}{F} \quad [10] \quad (4)$$

Bezeichnet man mit B_T die Kraft, die aus dem Schub und mit B_Q die Kraft, die aus dem Drehmoment resultiert, so wird

$$B_T = \frac{T_P}{Z} \quad [N] \quad (5)$$

$$B_Q = \frac{Q_P}{Z} \cdot \frac{1}{0,35 D} \quad [N], \quad (6)$$

wobei Z = Anzahl der Flügel ist.

Um mit diesen Kräften die gleiche Torsionsmomentenfehlanzeige wie aus der Fliehkraft F_E zu erhalten gilt:

$$Q_M = F_E \cdot h \cdot K = B \cdot (0,35 D - r) \cdot K \quad (7)$$

bzw. für die Fehl Anzeige aus dem Drehmoment

$$Q_{MQ} = \frac{Q_P}{Z} \cdot \frac{1}{0,35 D} \cdot (0,35 D - r) \cdot K_1 \quad (8)$$

und aus dem Schub

$$Q_{MT} = \frac{T_P}{Z} \cdot (0,35 D - r) \cdot K_2 \quad (9)$$

und aus der Fliehkraft

$$Q_{MC} = F \cdot K_3 \quad (10)$$

Die ersten gebauten Meßglieder wurden darüberhinaus einer dynamischen Erprobung unterworfen. Mittels speziell entwickelter Belastungskörper (Bild 11) ist auf Grund nachstehender Beziehungen eine rechnerische Ermittlung der Belastungsgrößen möglich, so daß die Meßglieder hinsichtlich ihrer Genauigkeit überprüfbar sind.

Zur Massenbestimmung wurden die in den Teilen m_2 und m_3 zur Befestigung auf dem Meßglied vorhandenen Bohrungen vernachlässigt, da diese durch die Schrauben annähernd wieder ausgefüllt werden.

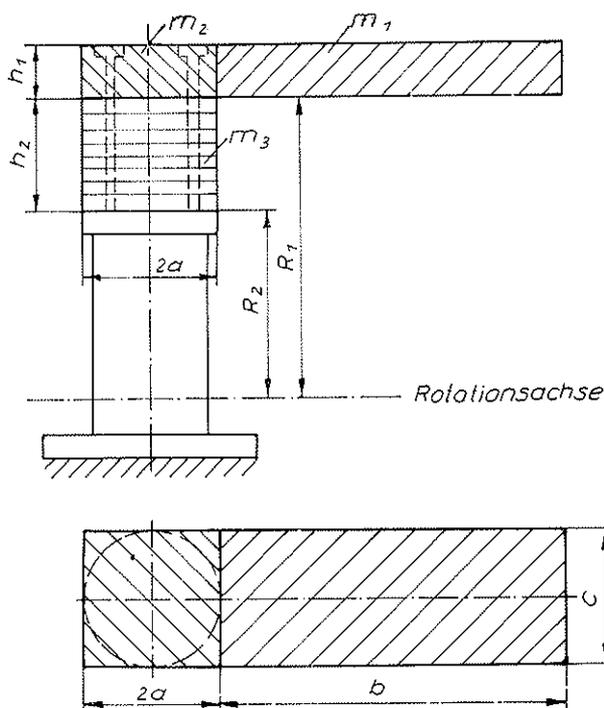
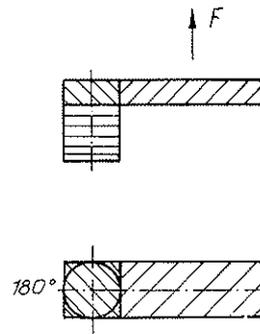


Bild 11. Belastungskörper

Berechenbar sind:

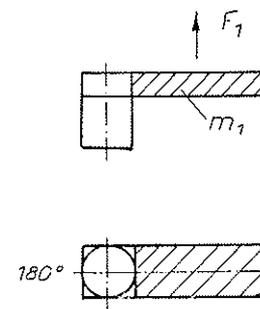
1. Fliehkraft



$$F = m r \omega^2 \quad (11)$$

$$F = 2 \varrho \pi^2 \cdot n^2 [(2a + b) \cdot (2R_1 + h_1) \cdot c \cdot h_1 + \pi a^2 \cdot h_2 \cdot (2R_2 + h_2)] \quad [N]$$

2. Biegemoment



$$M_b = F_1 \cdot (a + b/2) \quad (12)$$

$$M_b = 2 \varrho \pi^2 \cdot n^2 \cdot c \cdot h_1 \cdot (2a + b) \cdot (2R_1 + h_1) \cdot \frac{b}{2} \quad [Nm]$$

Die Biegebelastung resultiert aus der Fliehkraft des mit m_1 bezeichneten Teiles des Fliehmassenkörpers. Für diese Belastung ist ein weiterer Einflußfaktor

$$K_4 = \frac{A \cdot C_{QHW}}{C_1 \cdot (a + b/2)} \quad (13)$$

zu bestimmen, da sich aus der Einleitung eines reinen Biegemomentes eine andere Biegelinie und damit Fehl Anzeige ergibt.

3. Querkraft

Bei Verstellen des Fliehmassenkörpers aus der Nullage resultieren aus der Fliehkraft

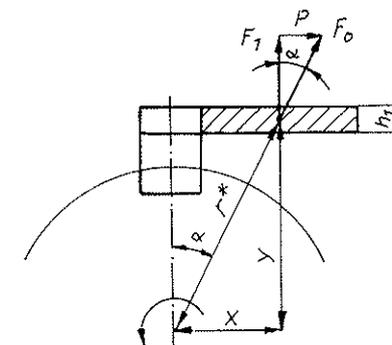
$$F_0 = m_1 \cdot r^* \cdot \omega^2$$

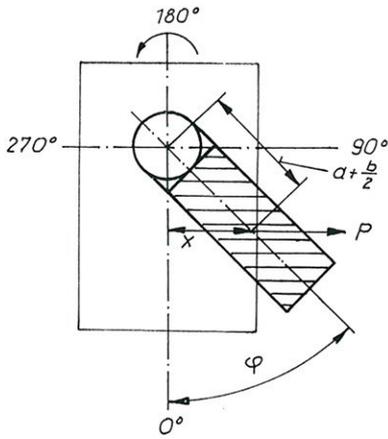
der Fliehkraftanteil

$$F_1 = m_1 \cdot y \cdot \omega^2$$

und der Querkraftanteil P

$$P = 2 \varrho \pi^2 \cdot n^2 \cdot c \cdot h_1 (2a + b) \cdot b \cdot \sin \varphi \quad [N] \quad (14)$$





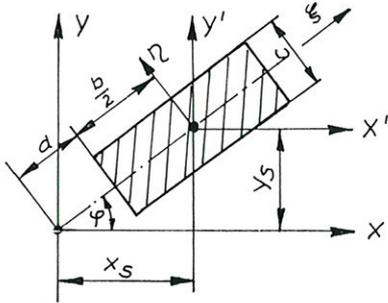
4. Torsionsmoment

Das Torsionsmoment leitet sich aus dem Zentrifugalmoment her

$$J_{\xi\eta} = 0$$

$$J_{x'y'} = \frac{1}{2} (J_{\eta} - J_{\xi}) \sin 2\varphi$$

$$J_{xy} = J_{x'y'} + F \cdot x_s \cdot y_s$$



$$M_t = 2 \rho \pi^2 \cdot n^2 \cdot h_1 \left[\frac{c b^3}{12} - \frac{b c^3}{12} + b \cdot c \cdot \left(a + \frac{b}{2} \right)^2 \right] \cdot \sin 2\varphi \quad [\text{Nm}] \quad (15)$$

ρ Dichte des Fliehkörperkörpers $[\text{kg}/\text{m}^3]$

Will man nun bei einer praktischen dynamischen Erprobung das gemessene und vorausberechnete Torsionsmoment vergleichen, so ist das gemessene Moment um die aus den Einflußfaktoren resultierenden Verfälschungen zu korrigieren.

$$M_{t\text{kor}} = M_{t\text{me}} - K_1 \cdot P \cdot \left(R_1 - r + \frac{h_1}{2} \right) - K_3 \cdot F - K_4 \cdot M_p \quad (16)$$

(Querkraftanteil) (Biegemomentanteil)

Das Verhältnis $\frac{M_{t\text{kor}}}{M_{t\text{re}}}$ ist ein Maß für die Genauigkeit der bestimmten Einflußfaktoren und könnte, wenn der Idealfall $\frac{M_{t\text{kor}}}{M_{t\text{re}}} = 1$ eintritt, auch zur Kalibrierung der Meßkette benutzt werden.

Das hätte den Vorteil, daß bereits bei der Kalibrierung dynamische Verhältnisse vorliegen und Kontaktfehler an den Schleifkontakten ausgeschlossen werden.

Hierzu müßte, resultierend aus der Verknüpfung des Torsionsmomentes mit der Winkelstellung des Fliehkörperkörpers, dieser um 45° aus der Nulllage gebracht werden. Winkelfehleinstellungen bis zu 1° machen sich dabei auf den Eichfaktor nicht bemerkbar, da der Term $\sin 2\varphi$ in Gleichung (15) praktisch unverändert bleibt.

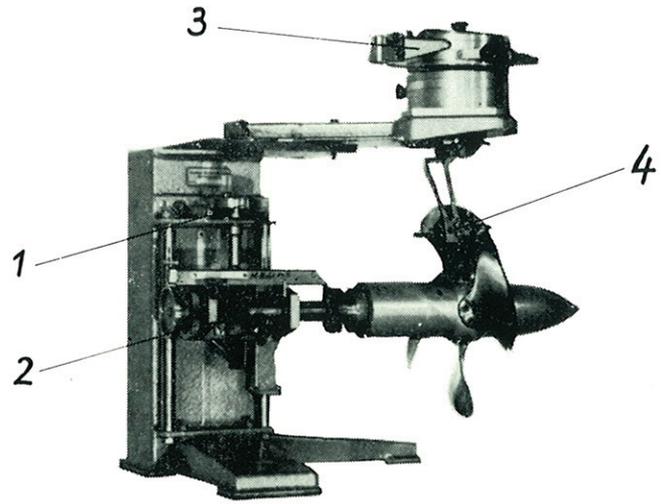


Bild 12. Winkeleinstellgerät

1 Höhenverstellung, 2 Längsverstellung, 3 Winkeleinstellkopf, 4 Taster

Versuchsdurchführung und -auswertung

Die Versuchsdurchführung ist, wie bereits erwähnt, in der Schlepprinne und im Kavitationstunnel für 3- und 4-flüglige Propeller möglich, während 5-flüglige Propeller z. Zt. nur in der Schlepprinne untersucht werden können.

Standardmäßig werden 7 bis 8 Steigungsverhältnisse untersucht, die den Stellbereich des Propellers der Großausführung überstreichen.

Die Versuche beginnen mit der Konstruktionssteigung des Propellers, die auf einer Propelleranbohrmaschine nach Anbohrplan eingestellt wird. Alle weiteren Steigungsveränderungen werden auf dem Winkeleinstellgerät (Bild 12) vorgenommen. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß der Taster stets an der gleichen Stelle des Flügels anliegt, also definierte Steigungsverstellungen erlaubt, während bei der Anbohrmaschine durch die Winkelverstellung die ursprünglichen Propellerradien nicht mehr auf Zylinderschnitten liegen, so daß bei nicht gerader Druckseite eine genaue Einstellung durch Messen der Steigungsdifferenz nicht mehr möglich ist.

Während die Versuche in der Schlepprinne mit dem Standversuch beginnen, ist im Kavitationstunnel nur ein bestimmter minimaler Fortschrittsgrad realisierbar.

Normalerweise werden die Versuche mit konstanter Drehzahl durchgeführt. Unterschiedliche Fortschrittsgrade erhält man durch Variation der Anströmgeschwindigkeit. Gemessen werden:

- Propellerschub
- Düschub
- Propellerdrehmoment
- Propellerdrehzahl
- Flügelverstellmoment.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Form dimensionsloser Beiwerte:

$$K_{TP} = \frac{T_P}{\rho D^4 n^2} [-] \quad (17)$$

$$K_{TD} = \frac{T_D}{\rho D^4 n^2} [-] \quad (18)$$

$$K_{QP} = \frac{Q_P}{\rho D^5 n^2} [-] \quad (19)$$

$$K_{QH} = \frac{Q_H}{\rho D^5 n^2} [-] \quad (20)$$

$$J = \frac{V}{n D} [-] \quad (21)$$

Das hydrodynamische Flügelverstellmoment ergibt sich aus folgender Beziehung:

$Q_H = Q_{HW_{\text{meß}}} - \text{Fliehkraftmoment} - \text{Einflußgrößen aus Drehmoment, Schub und Fliehkraft}$

$$Q_H = Q_{HW} \cdot C_{QH} - Q_{HL} - K_1 \frac{Q_P}{Z} \frac{C_{QP}}{0,35 D} \cdot (0,35 D \cdot r) - K_2 \frac{T_P}{Z} C_{TP}(0,35 D \cdot r) - K_3 \cdot 2 z^2 n^2 \cdot 0,7 R \cdot M_{F1} \quad [Nm] \quad (22)$$

Q_{HW}, Q_P, T_P [Skt]

M_{F1} = Flügelmasse [kg]

Das Fliehkraftmoment Q_{HL} wird experimentell durch Versuche auf dem Luftmeßstand für unterschiedliche Flügelsteigungen ermittelt. Zur rechnerischen Weiterverarbeitung wird der Beiwert

$$C_{QHL} = \frac{Q_{HL}}{n^2} \quad [Nm \cdot s^2] \quad (23)$$

gebildet, so daß dann entsprechend der Versuchsdrehzahl die Korrektur vorgenommen werden kann.

Das Vorzeichen des hydrodynamischen Flügelverstellmomentes ist an seine Wirkungsrichtung gekoppelt.

Es wurde die generelle Festlegung getroffen, daß ein steigungsvergrößernd wirkendes Flügelverstellmoment als positiv definiert wurde. Rechts- und Linkspropeller haben ein entgegengesetztes Vorzeichen. Darauf aufbauend ergeben sich die Vorzeichen für das Verstellmoment in Luft und die Einflußfaktoren. Letztere haben für die Drehmomentenwirkung für ein und dasselbe Meßglied also unterschiedliche Vorzeichen, während sie beim Schub gleich sind, da dieser immer in gleicher Richtung positiv wirkt.

Für die mathematische Behandlung und Berechnung des Flügelverstellmomentenbeiwertes ist es daher notwendig auch das Drehmoment und den Schub vorzeichenbehaftet einzugeben. Hier wurden die allgemein üblichen Definitionen gewählt, wonach ein der Drehrichtung entgegenwirkendes Drehmoment und eine in Fortschrittsrichtung wirkende Kraft (Schub) als positiv bezeichnet werden.

Mit diesen Festlegungen kann in einfacher Form nach Formel (22) für Q_H die Berechnung durchgeführt werden.

Durch eine genaue Auswahl der HL-DMS, eine exakte Positionierung derselben und eine langerprobte Klebtechnologie ist es gelungen, die Einflußfaktoren K_1 und K_2 sehr klein zu halten, so daß sich die Korrekturen aus Drehmoment und Schub kaum bemerkbar machen. Der Einflußfaktor K_3 war bisher in allen Fällen gleich Null. Erheblichen Einfluß auf den Verlauf der Beiwertkurven K_{QH} hat hingegen das Fliehkraftverstellmoment. Es hat für eine bestimmte Flügelsteigung einen fixen positiven oder negativen Wert, während das in Wasser gemessene hydrodynamische Flügelverstellmoment fortschrittsgradabhängig von positiven zu negativen Werten wechseln kann. Der charakteristische Verlauf der Beiwertkurve K_{QH} kann daher nicht allein aus der Messung von Q_{HW} abgeleitet werden, ohne zumindest Q_{HL} zu berücksichtigen.

Beispiel

Zur Veranschaulichung möge ein ausgesuchtes Beispiel eines Verstellpropellers dienen.

Die Flügelprojektion in Konstruktionssteigung ist in Bild 13 dargestellt.

Tabelle 1 enthält die Übersicht über Eichkonstanten und Einflußfaktoren der Meßglieder.

In Bild 14 ist der Beiwert des Eigenverstellmomentes in Abhängigkeit vom Steigungswinkel dargestellt.

Bild 15 zeigt die Versuchsergebnisse aus der Schlepprinne und dem Kavitationstunnel im kavitationsfreien Zustand des Propellers, während Bild 16 für zwei ausgesuchte Stei-

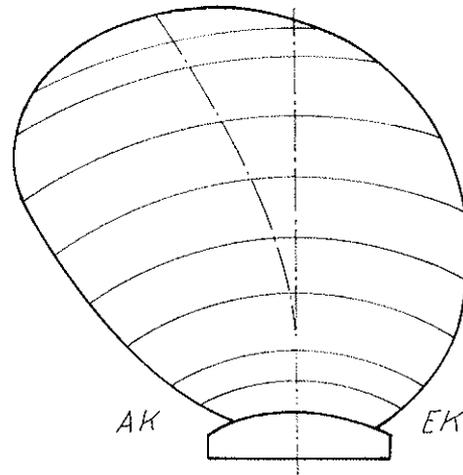


Bild 13. Flügel VP 4019

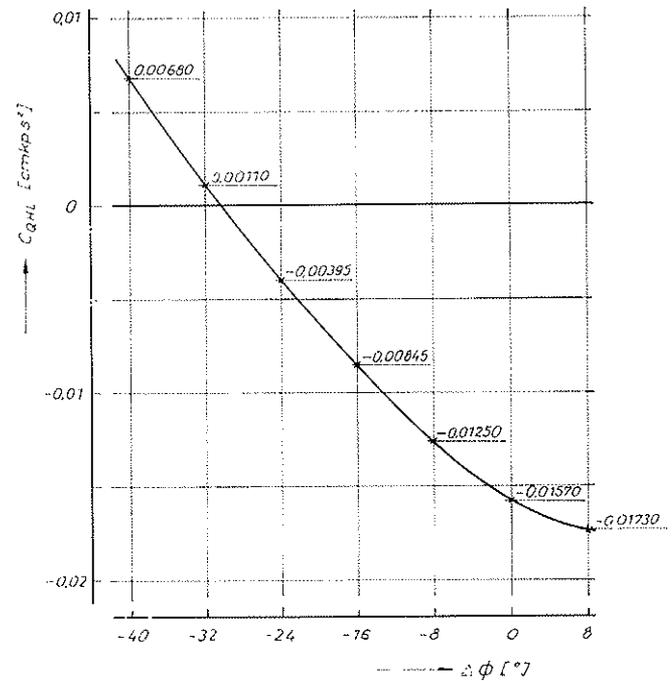


Bild 14. Beiwert der Eigenverstellmomente $C_{QHL} = f(\Delta\phi)$ VP 4019

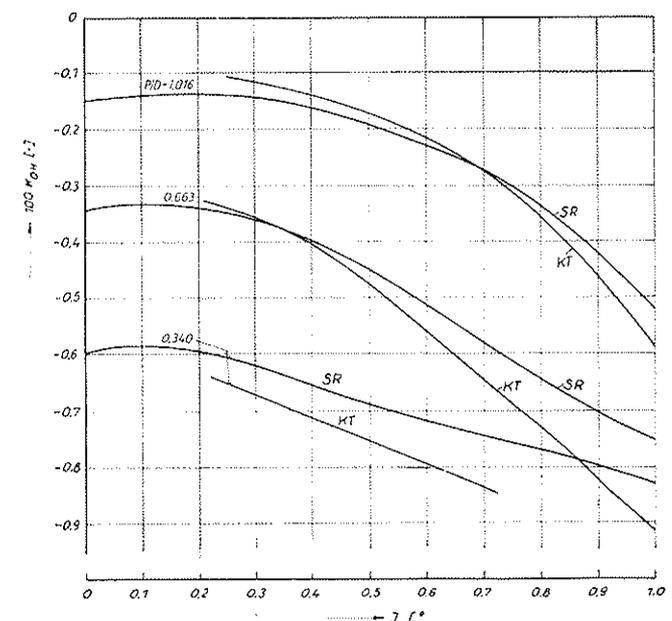


Bild 15. Flügelverstellmomentenbeiwert K_{QH} nach Messung in Schlepprinne und Kavitationstunnel

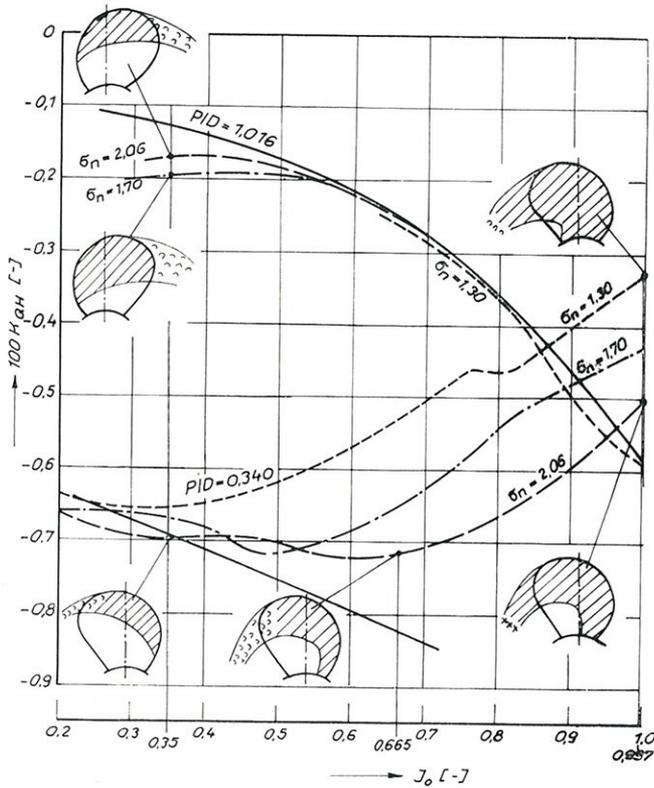


Bild 16. Flügelverstellmomentenbeiwert K_{QH} unter Kavitationseinfluß

Tabelle 1. Eichkonstanten und Einflußfaktoren der verwendeten Torsionsmeßglieder

Versuchsanlage	Schlepprinne	Kavitationstunnel
Torsionsmeßglied	002/09	010/14
Eichfaktor $C_{QH}W$ [kpm/SKT]	.002	.00723
Einflußfaktoren K_1 [—]	+ .00275	— .00225
K_2 [—]	0	0
Lage der DMS r [m]	+ .0025	+ .0025

Untersuchungen der Umströmung eines Modells der „Serie 60“ mit $C_B = 0,60$

Dipl.-Ing. Friedrich Mewis und Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Heinke, VEB Kombinat Schiffbau Rostock, Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam

1. Einleitung

Im Ergebnis einer Umfrage hat das Widerstands-Komitee der 16. ITTC 1981 beschlossen [1], ein Gemeinschafts-Versuchsprogramm zur Messung der Modell-Widerstandskomponenten und Strömung durchzuführen, an dem sich insgesamt 27 Mitgliedsorganisationen, darunter auch das KSR, beteiligen. Untersucht werden vier Schiffsrumpfformen, die einen breiten Typenbereich umfassen:

1. Wigley's parabolischer Körper
2. Serie 60, $C_B = 0,60$
3. HSVA-Tanker
4. Athena, Hochgeschwindigkeitsschiff mit Spiegelheck

In der DDR wurde das in der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam vorhandene Modell Nr. 675 der „Serie 60“, $C_B = 0,60$, untersucht. Dieses Modell wurde 1981 nach Helsinki verlichen, wo ebenfalls Untersuchungen damit vorgenommen wurden. Untersuchungen des „Serie 60“-Modells wurden von insgesamt 9 Institutionen in 7 Ländern durchgeführt.

gungen den Einfluß der Kavitationszahl auf die Verstellmomentenbeiwerte enthält.

Man erkennt hier den Einfluß der am Flügel entstehenden Kavitationsblase. Sie bewirkt in der Konstruktionsstellung eine Auftriebsreduzierung auf der Saugseite des Propellers und zwar vorwiegend im Bereich vor der Drehachse des Flügels, so daß daraus gegenüber dem voll benetzten Flügel ein größeres steigungsreduzierendes (negatives) Flügelverstellmoment resultiert.

Bei der kleineren Propellersteigung lag bei den Versuchen durchweg Druckseitenkavitation vor. Die aus den Versuchsbedingungen resultierende Unterdruckbelastung der Druckseite des Flügels wird durch die Kavitationsblase gestört und führt fast im gesamten untersuchten Fortschrittsgradbereich zu einer Verringerung der absoluten Größe des Flügelverstellmomentes.

Hier wird die Kopplung an die Kavitationszahl, also die flächenhafte Ausdehnung der Kavitationsblase gut sichtbar. Ebenso wird deutlich, daß die Lage der Blase zur Verstellachse einen direkten Einfluß auf die Änderung des Flügelverstellmomentes gegenüber dem voll benetzten Flügelblatt ausübt.

Diese Vorgänge sind gegenwärtig rechnerisch nur näherungsweise erfaßbar, so daß auch künftig weiter auf Modellversuchsergebnisse zurückgegriffen werden muß.

Literatur

- [1] Bossow, G.: Untersuchungen über das hydrodynamische Flügelmoment an Schiffsverstellpropellern. Schiffbauforschung, Rostock 1 (1962) 2, S. 45—84
- [2] Bednarzik, R.: Methode zur Berechnung der hydrodynamischen Flügelverstellmomente von Verstellpropellern unter Berücksichtigung von Kavitationseinflüssen. Schiffbauforschung, Rostock 19 (1980) 1, S. 30—36.
- [3] Selke, W.: Messung von Flügelverstellmomenten mittels Torsionsmeßgliedern — Grundlagen —. SVA-Bericht-Nr. 1082 (1977), unveröffentlicht.
- [4] Selke, W.: Messung von Flügelverstellmomenten mittels Torsionsmeßgliedern — Anleitung zur Versuchsauswertung —. SVA-Bericht-Nr. 1083 (1977), unveröffentlicht.
- [5] Graupner, H.: Untersuchungen der hydrodynamischen Eigenschaften der Modellpropeller VP 4019 und VP 4021 in der Schlepprinne. SVA-Bericht-Nr. 1355 (1981), unveröffentlicht.
- [6] Selke, W., Graupner, H.: Messung der hydrodynamischen Flügelverstellmomente an den Propellern VP 4019 und VP 4021 im Kavitationstunnel, Meßstrecke □850. SVA-Bericht-Nr. 1424 (1983), unveröffentlicht.

Das Ziel des Gemeinschafts-Programms besteht darin, eine rechnergerechte Datenbasis zu schaffen, die bequem für Schiffshydrodynamiker anwendbar ist. Außerdem sollen durch Untersuchungen gleicher Modelle in verschiedenen Institutionen Vergleichsdaten gesammelt werden, die eine Einschätzung der Güte der Versuchsergebnisse erlauben. Die gesamten Arbeitsergebnisse werden 1984 im Rahmen der 17. ITTC veröffentlicht.

Die folgenden Messungen sollten insgesamt für jeden Schiffstyp vorgenommen werden:

- Gesamtwiderstand
- Wellenprofile und -spektren
- Grenzschicht-Querschnitte
- Nachlaufmessungen
- Schiffskörperdrücke
- Schiffskörper-Schubspannungen

Die Richtlinien über die Versuchsbedingungen, den erforderlichen Datenumfang und die einheitlichen Analyse- und Berichtsverfahren wurden den Teilnehmern zugesandt.