

Meßeinrichtung für den Kavitationskanal zur Ermittlung der vom Propeller ausgehenden Druckimpulse

Mitteilung aus dem VEB Kombinat Schiffbau, Schiffbau-Versuchsanstalt Dipl.-Ing. Wolfgang Selke; Dr.-Ing. Manfred Mehmel, Potsdam

In der Vergangenheit tendierten die meisten Schiffstypen zu höheren Geschwindigkeiten und größeren Abmessungen. Damit verbunden war ein Anwachsen der Wellenleistungen. Es ist daher nicht überraschend, daß Propulsionsaspekte dieser Schiffe oftmals verschiedene Probleme aufwerfen, da an eine moderne Schiffspropulsionsanlage einander teils entgegenstehende Forderungen gestellt werden, wie effektive Energieumsetzung, ausreichende Lebensdauer, Vermeidung schädlicher Nebenwirkungen auf den Schiffskörper und die Antriebsanlage u. a. m.

Im einzelnen wurde den Problemen im Zusammenhang mit der letzten Forderung wachsende Aufmerksamkeit geschenkt, da sowohl mit zunehmender Schiffsgröße als auch mit höherer Schiffsgeschwindigkeit die vom Propeller abgestrahlte spezifische Druckenergie ansteigt, wobei besonders durch die Geschwindigkeitserhöhung ein enormer Anstieg zu verzeichnen ist. Gleichzeitig steigt die Gefahr der Propellerkavitation, die, wie festgestellt wurde, diese Druckschwankungen erheblich vergrößert. Diese hydrodynamischen Erregerkräfte können in Propeller- und Schiffsaußenhautkräfte unterteilt werden. Die Propellerkräfte werden auf die Stevenrohrlager und die Antriebseinheit übertragen. Die Außenhautkräfte werden durch Druckschwankungen auf den Außenhautplatten im Bereich des Propellers verursacht. Damit lassen sich einige der Schwingungsursachen am Schiffsheck erklären. Um die Größenordnung dieser propellerinduzierten Druckschwankungen kennenzulernen, den Einfluß der Kavitation auf diese zu untersuchen und Vergleiche zwischen verschiedenen Propellern vornehmen zu können, erweisen sich Druckmessungen als unumgänglich. Darum wurde für Druckmessungen im Kavitationskanal K 15 A [1] der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam, eine Druckimpuls-Meßeinrichtung entwickelt. Sie besteht aus einer Meßkette zur Datenerfassung (Bild 3) und einer Vorrichtung zur Unterbringung und Befestigung der Druckaufnehmer in der Meßstrecke des Kavitationskanals, im weiteren als Druckmeßdosenstrebe bezeichnet (Bild 1). Abmessungen, Form und Aufbau der Druckmeßdosenstrebe wurden durch folgende Einflußgrößen bestimmt:

- Anzahl und Abmessungen der Druckaufnehmer und des Beschleunigungsaufnehmers;
- Lage der Druckaufnehmer zum Propeller;
- Propellerabmessungen;
- Beeinflussung der Strömung in der Meßstrecke;
- Verwendung vorhandener Einrichtungen des Kavitationskanals;
- einfache Montage.

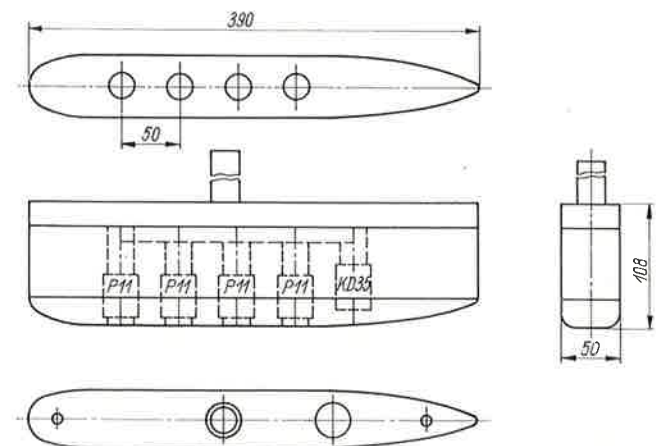
In der Druckmeßdosenstrebe lassen sich vier induktive Flüssigkeits- und Gasdruckaufnehmer vom Typ P 11/1 und ein Beschleunigungsaufnehmer vom Typ KD 35 unterbringen. Der vertikale Abstand der Druckaufnehmer beträgt 50 mm. Die Membranebene der Aufnehmer liegt horizontal über dem Propeller, und der Abstand dieser zum Propellerkreis betrug bei den Messungen 30% des Propellerdurchmessers (0,3 D). Als Querschnitt wurde ein Stromlinienprofil mit parallelem Mittelteil gewählt. Dadurch wird eine geringe Beeinflussung der Strömung erreicht. Die Druckaufnehmer selbst liegen im Mittelteil in einem Bereich nicht abgelöster Strömung mit geringen Überge-

schwindigkeiten. Im Bild 1 ist die Druckmeßdosenstrebe mit einigen wichtigen Abmessungen und der Lage der Aufnehmer dargestellt.

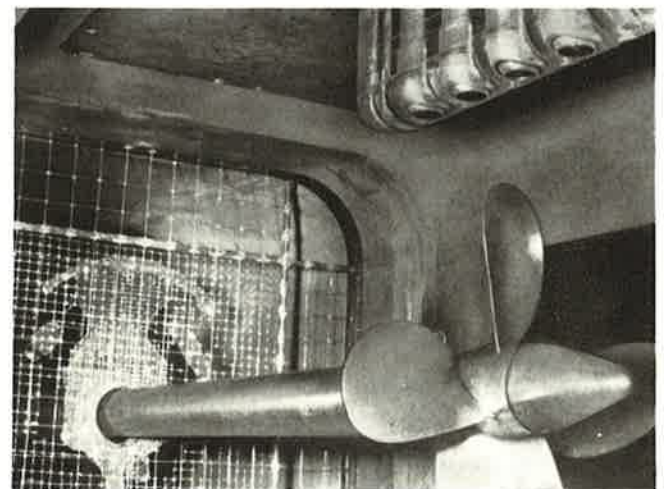
Über ein Rohr werden die Anschlußleitungen nach außen geführt, so daß innerhalb der Meßstrecke Atmosphärendruck herrscht, während das gesamte System zur Meßstrecke hin druckdicht ausgeführt ist. Die Abdichtung des Rohrdurchganges durch die Tankwand erfolgt über einen Spezialflansch. Die Anordnung der Druckmeßdosenstrebe in der Meßstrecke wurde durch die Lage des Propellers im simulierten Mitstromfeld bestimmt. Die Druckmeßdosen selbst sind so angebracht, daß eine Membranmitte senkrecht über dem Schnittpunkt der Erzeugenden mit der Blattspitze liegt.

Da sich bei den Voruntersuchungen [2] mit vier Druckaufnehmern gezeigt hatte, daß mit der über dem Propeller liegenden Druckmeßdose die größten Druckschwankungen gemessen werden, werden bei vergleichenden Untersuchungen zur Verringerung des meßtechnischen und Auswerteaufwandes nur ein Druck- und der Beschleunigungsaufnehmer eingesetzt. Aus Bild 2 ist die Anordnung der Meßstrebe in der Meßstrecke ersichtlich. Aufmessungen der Geschwindigkeitsverteilung mittels Prandtl-Rechen haben ergeben, daß mit Meßdosenstrebe nur maximal 2% höhere Geschwindigkeiten in der Propellerkreisebene auftreten, so daß die Meßeinrichtung für Routineversuche eingesetzt werden kann.

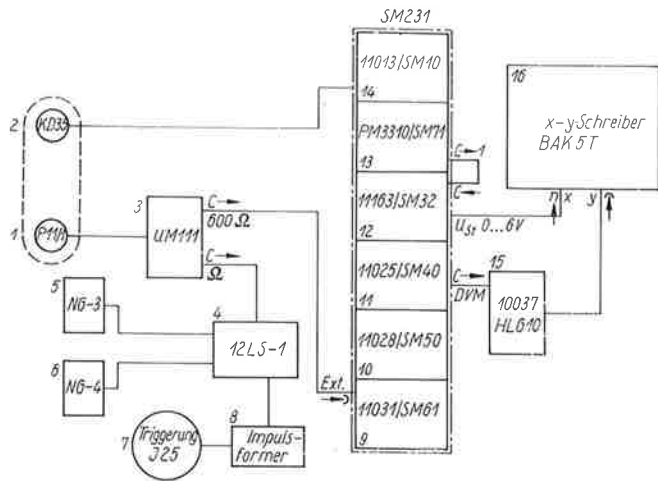
Druck- und Beschleunigungsaufnehmer sind die Anfangsglieder der im Bild 3 dargestellten Meßkette. Die Speisung des induktiven Absolutdruckaufnehmers mit einem Meßbereich von ± 1 bar und einem Membrandurchmesser von 16,5 mm erfolgt über die Universalmeßbrücke, während der piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer an den Integrierverstärker des Schwingmeßplatzes SM 231 angeschlossen



1 Druckmeßdosenstrebe für 4 P 11 Druckaufnehmer (HBM)



2 Druckmeßdosenstrebe im Meßquerschnitt



3

Blockschaltbild Druckimpulsmessung

1 Druckaufnehmer P 11/1, 2 Beschleunigungsaufnehmer KD 35, 3 Universalmeßbrücke UM 111, 4 12-Kanal-Lichtschreiber, 5 Netzgerät NG 3, 6 Netzgerät NG 4, 7 Triggerimpulsgeber vom J 25, 8 Impulsformer, 9 Speiseteil SM 61, 10 Oszilloskop SM 50, 11 Anzeigeteil SM 40, 12 Schmalbandfilter SM 32, 13 Steuerteil SM 71, 14 Integrierverstärker SM 10, 15 Gleichspannungsverstärker HLG 10, 16 X-Y-Schreiber BAK 5 T

sen ist. Am Ausgang \cap des UM 131 ist der 12-Kanal-Lichtschreiber angeschlossen, und der Ausgang 600Ω ist mit dem SM 231 verbunden. Der Schmalbandanalysator SM 32 hat eine Resonanzfrequenz f_0 von 0,2 bis 20 kHz, die stufenweise und stetig über drei Dekaden durchstimmbar ist und durch einen Frequenzfaktor ($k = 1; 10; 100$) und über ein Rändelrad intern von $k \cdot (0,2 \dots 200 \text{ Hz})$ bzw. durch eine Steuerspannung extern einstellbar ist. Die externe Steuerspannung wird vom Steuerteil SM 71 geliefert. Die Steuercharakteristik ist dabei so festgelegt, daß eine lineare Steuerspannungsänderung eine exponentielle Resonanzfrequenzänderung zur Folge hat. Dadurch liegt der logarithmische Frequenzmaßstab fest. Die Analysierzeiten für den Steuerspannungsbereich sind umschaltbar von 1 bis 3000 s. Die relative Bandbreite des Schmalbandanalysators SM 32 ist einstellbar: 30%, 10%, 3% (linear) der jeweiligen Resonanzfrequenz. Die Messung und Auswertung des vom SM 32 analysierten Signals erfolgt im Anzeigeteil SM 40. Dort wird die Signalspannung gleichgerichtet. Die Anzeigeart ist einstellbar, so daß man zwischen der Anzeige des Effektivwertes und des positiven bzw. negativen Spitzenwertes der Meßspannung wählen kann.

Am Ausgang DVM des Anzeigeteils ist ein Gleichspannungsverstärker angeschlossen, der die Spannung soweit verstärkt, daß eine volle Auslenkung der Ordinate des X-Y-Schreibers für den eingestellten Meßbereich erfolgt. Die Abszissenauslenkung erfolgt über die Steuerspannung des Steuerteils. Das vom Aufnehmer KD 35 erzeugte Meßsignal gelangt über den Aufnehmereingang des SM 321 in den Integrierverstärker SM 10 und wird dort je nach Stellung des Meßgrößenwählers verstärkt bzw. integriert. Dieses Signal gelangt dann über den Schmalbandanalysator und das Anzeigeteil zur Aufzeichnung auf den X-Y-Schreiber. Um sich ein Bild vom ungefilterten Drucksignal machen zu können, wird dies mit dem Lichtschreiber aufgezeichnet. Dazu ist eine Umschaltung der Ausgänge am Meßverstärker notwendig. Gleichzeitig wird das Signal zur Triggerung des Stroboskops für die Propellerbeobachtung über einen Impulsformer mit aufgezeichnet, um eine Angabe über den Durchgang der einzelnen Propellerflügel durch die Meßebene zu haben.

Im Lichtschreiber werden zur Aufzeichnung der Signale Stiftgalvanometer mit einer Eigenfrequenz in Luft von etwa 1000 Hz und einer Abweichung von der statischen Empfindlichkeit von $\pm 8\%$ im Bereich von 0...600 Hz eingesetzt. Die Eigenfrequenz des Druckaufnehmers P 11/1 in Wasser ergab sich bei den Messungen zu $\approx 1250 \text{ Hz}$,

während sie beim Beschleunigungsaufnehmer KD 35 nach Eichschrieb des Herstellers bei $\approx 25 \text{ kHz}$ liegt.

Zur Eichung der Meßketten sei hier nur soviel gesagt, daß die Druckaufnehmer-Meßkette infolge des Fehlens eines Schwingtisches z. Z. statisch bzw. „pseudodynamisch“ mit einem Frequenzgenerator geeicht wird, während die Beschleunigungsaufnehmer-Meßkette elektrisch mit dem Schwingungsmeßplatz SM 231 geeicht wird.

Im Ergebnis der Druckimpulsmessung an einem Propeller erhält man mit dieser Meßeinrichtung ein Amplitudenfrequenzspektrum der Druckschwankungen, einen Schrieb der Druckschwankungen des ungefilterten Drucksignals und ein Amplitudenfrequenzspektrum der Vertikalschwingbeschleunigungen der Meßeinrichtung.

Die Schwingbeschleunigungen sind ein Ausdruck der durch das Arbeiten der Versuchsanlage und des Propellers verursachten Schwingungen der Meßstreckenwand. Bei Untersuchungen an Propellern [3] zeigte sich, daß sie sehr gut die durch das Arbeiten des Propellers verursachten Geräusche, speziell bei Kavitation, wiedergeben. Der Störpegel, der durch das Arbeiten der Versuchsanlage selbst verursacht wird, ist gering.

Die Untersuchung an Modellpropellern brachte einige interessante Ergebnisse. Untersucht wurden vier Propeller, die für ein und denselben Entwurfspunkt nach vier verschiedenen Berechnungsverfahren entworfen wurden. Die Ergebnisse der Druckimpulsmessungen und die entsprechenden Kavitationsbilder für den Entwurfspunkt bei homogener Zuströmung und im simulierten axialen Nachstrom, der am Modell aufgemessen wurde [4], sind im Bild 4 enthalten. Man erkennt, daß bei homogener Anströmung und der dabei auftretenden stationären Kavitation nur Druckimpulse der 1. Blattfrequenz gemessen werden. Die Untersuchungen ergaben, daß erst ab einer kavitierenden Fläche von $> 10\%$ der Flügelfläche ein Einfluß auf die Druckamplitude feststellbar ist, der nach Huse [5] aus der zusätzlichen Verdrängungswirkung des Kavitationshohlraumes resultiert. Im simulierten Nachstromfeld kommt es infolge der inhomogenen Zuströmung zu einem von der Winkellage des Propellerflügels abhängigen Anwachsen und Abklingen der Kavitationserscheinung während einer Propellerumdrehung. Die Kavitationsausdehnung ist hier wesentlich größer. Das Drucksignal, das jetzt auch Anteile höherer Blattfrequenzen aufweist, wird in diesem Fall hauptsächlich durch die Volumenänderung des Kavitationshohlraumes beeinflusst.

Die Meßergebnisse demonstrieren eindeutig, wie durch einen hinsichtlich der Kavitationsentwicklung optimierten Propellerentwurf auch die Druckimpulse positiv beeinflusst werden bzw. wie stark der Einfluß der Kavitation auf die propellerinduzierten Druckkräfte ist. Bild 5 verdeutlicht dies am Beispiel des Propellers P 1191, der die insgesamt größten Druckamplituden der untersuchten Propeller bei allen untersuchten Betriebszuständen aufwies. Bei homogener Zuströmung kommt es zu einer Vergrößerung der Druckamplituden infolge Kavitation von $\leq 40\%$, während im simulierten Nachstrom der entsprechende Wert für die 1. Blattfrequenz $\leq 310\%$ beträgt; beachtet werden müssen auch die beträchtlichen Anteile der Blattfrequenzen höherer Ordnung.

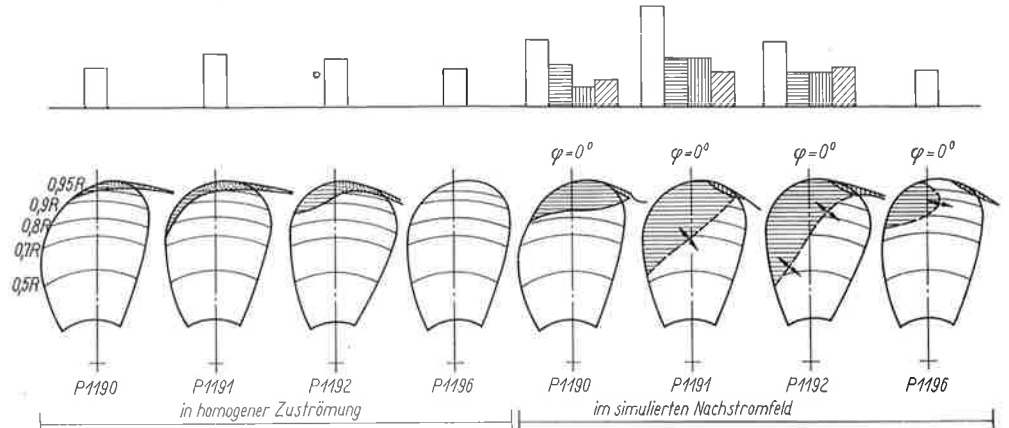
Mit der hier vorgestellten Meßeinrichtung für den Kavitationskanal wurde eine Möglichkeit geschaffen, vergleichende Untersuchungen an Propellern hinsichtlich der von ihnen induzierten Druckschwankungen vornehmen zu können. Eine direkte Übertragung der Meßergebnisse auf die Großausführung ist allerdings nicht möglich, da einmal das am Schiff vorliegende räumliche Nachstromfeld nicht simuliert und somit auch die entsprechende Lage der Druckaufnehmer nicht nachgebildet werden kann. Zum anderen tritt durch die Kanalwand eine Beeinflussung des gemessenen Signals durch Reflexionen auf. Wie jedoch Rechnungen mit dem Programm NV 570 [6] gezeigt haben, wird die Tendenz der gemessenen Werte bestätigt. Damit ist der Projektant von Propellern in der Lage, Propeller mit höheren Gebrauchseigenschaften zu entwerfen.

Propellerdruckimpulse und Kavitationserscheinungen (nach SVA-Bericht-Nr. 1118)

Betriebszustand $J_{V_0} = 0,65$
 $K_T = 0,17$ } Entwurfspunkt
 $\sigma_n = 1,99$

□ 1. Blattfrequenz ▨ 3. Blattfrequenz
 ▩ 2. Blattfrequenz ▧ 4. Blattfrequenz

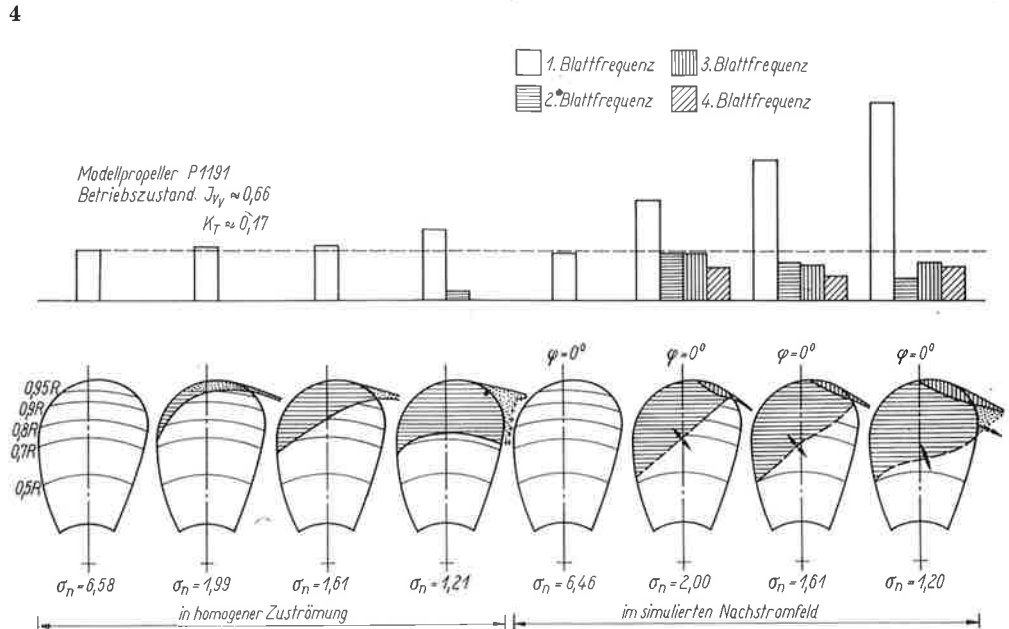
Propellerdruckimpulse in Abhängigkeit von den Kavitationserscheinungen (nach SVA-Bericht-Nr. 1118)



Literatur

- [1] Doerp, E.: Kavitation. Ausführlicher Abschlußbericht zur Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Bericht Nr. 893 der Schiffbau-Versuchsanstalt, unveröffentlicht, Potsdam 1974.
- [2] Mehmel, M.: Meßeinrichtung für den Kavitationskanal zur Ermittlung der vom Propeller ausgehenden Druckimpulse. Bericht Nr. 1108 der Schiffbau-Versuchsanstalt, unveröffentlicht, Potsdam 1977.
- [3] Mehmel, M.: Messung der von den Modellpropellern P 1190, P 1191, P 1192 und P 1196 ausgehenden Druckimpulse im Kavitationskanal bei homogener Zuströmung und im simulierten Nachstrom. Bericht Nr. 1118 der Schiffbau-Versuchsanstalt, unveröffentlicht, Potsdam 1978.
- [4] Günther, B.: Simulation des nominellen axialen Mitstromfeldes Frachtschiff „Mercur III“. Bericht Nr. 991 der Schiffbau-Versuchsanstalt, unveröffentlicht, Potsdam 1975.
- [5] Huse, E.: Pressure Fluctuation on the Hull Induced by Cavitating Propellers. Norwegian Ship Model Tank Publication No. 111, März 1972.
- [6] Programmbenutzerinformation NV 570; Berechnung der Erregerkräfte eines kavitierenden Schiffpropellers. Institut für Schiffbau, Rostock. Das Programm ist Eigentum des VEB Mathias-Thesen-Werft, Wismar.

SWTA 3679



Bestellschein für Literatur aus dem VEB Verlag Technik Berlin

(Seewirtschaft 4/1979)

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Inland beim örtlichen Buchhandel bestellen.

Taschenbuch Maschinenbau

Band 3/III Arbeitsmaschinen
 Autorenkollektiv
 2., stark bearbeitete Aufl.,
 324 S., 435 Bilder und 71 Taf.,
 Kunstleder 18,00 Mark,
 Bestell-Nr. 5527025

Effektive Planung prophylaktischer Maßnahmen in der Instandhaltung

Reihe AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, Band 185
 F. Beichell
 1. Aufl., 72 S., 18 Bilder, 15 Taf.,
 Broschur 4,80 Mark,
 Bestell-Nr. 5526848

Starkstromleitungen und Netze

Fachschulliteratur
 J. Gester
 2., durchgesehene Aufl., 320 S.,
 254 Bilder, 33 Taf.,
 Kunstleder 22,00 Mark,
 Bestell-Nr. 5524668

Fertigungsgerechtes Gestalten von Maschinenbauteilen

Reihe Betriebspraxis
 K.-H. Tempelhof; H. Lichtenberg; J. Rugenstein
 1. Aufl., 108 S., 31 Bilder, 18 Taf.,
 Broschur 9,00 Mark,
 Bestell-Nr. 5525724

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik ebenfalls mit diesem Vordruck bestellen.

Name, Vorname

Anschrift und Postleitzahl

Datum

Unterschrift