

## Einfluß von Flügelgeometrie und Nachstromfeldcharakteristik auf die propellerinduzierten Druckimpulse

von Manfred Mehmel

Herrn Prof. em. Dr. phil. G. Schmitz zum 75. Geburtstag gewidmet.

### 1. Einleitung

Durch die zunehmende Verknappung von Rohstoffen ergeben sich steigende Materialpreise die auch ihren Niederschlag in der Schiffbauindustrie und bei den Betreibern von Schiffen finden. Dies führt zu einem verstärkten Leichtbau der Schiffbaukonstruktionen und zum Einsatz von Antriebsanlagen mit geringen Betriebskosten, d. h. hohem Wirkungsgrad.

In beiden Fällen spielen die Propulsionsaspekte eine nicht unwesentliche Rolle, weil sie einen direkten Einfluß auf die Betriebskosten und auf die Arbeits- und Lebensbedingungen an Bord haben.

Bezüglich dem letztgenannten werfen der Leichtbau und die Tendenz zu Schiffen mit größeren Propellerdurchmessern Probleme auf, da durch den Leichtbau die Schwingungsanfälligkeit wächst und die großen Propeller zwangsläufig einen kleineren Freischlag bedingen. Da jedoch die propellererregten Druckimpulse sich in ihrer Größe näherungsweise umgekehrt proportional zum Radius der Entfernung verhalten, liegt das Problem für den Propellerprojektanten klar auf der Hand.

Von den für den Propellerentwurf verfolgten Zielstellungen:

- Erzeugung eines gegebenen Schubes
- Gewährleistung eines hohen Wirkungsgrades
- Sicherung guter Kavitationseigenschaften und dadurch Ausstrahlung geringer auf die Außenhaut wirkender Druckimpulse
- Erzeugung möglichst geringer über die Wellenleitung in das Schiff eingeleiteter Propellerwechselkräfte und -momente

soll an Hand von im Auftrag des Dieselmotorenwerk Rostock in der Schiffbau-Versuchsanstalt durchgeführten Untersuchungen über den Einfluß der Flügelgeometrie und der Nachstromfeldcharakteristik auf die propellerinduzierten Druckimpulse berichtet werden.

### 2. Darstellung der untersuchten Propellervarianten

Für die durchzuführenden Vergleiche wurden Propellervarianten für 3 Schiffstypen entworfen und zwar für zwei schnelle Frachtschiffe I (Propeller P 1190, P 1191, P 1192 und P 1196) und II (VP 4019, VP 4020 und VP 4021) sowie ein Massengutschiff (Propeller VP 4005, VP 4016 und VP 4018). Die Flügelkonturen sind der Abb. 1 zu entnehmen. Als Entwurfsbedingungen lagen für jedes dieser Schiffe folgende Daten vor:

Propellerdurchmesser und Flügelzahl, Propellerschub, Propellerdrehzahl, Schiffsgeschwindigkeit, mittlere effektive

Nachstromziffer, Tauchtiefe der Propellerwelle, Propellerwerkstoff, Klassifikationsvorschrift und Eisklasse.

Weiterhin war für jedes dieser Schiffe, das am Modell in der Propellerebene aufgemessene, nominelle Nachstromfeld bekannt.

Sämtliche Entwürfe stammen vom Dieselmotorenwerk Rostock.

#### 2.1. Propellervarianten für ein schnelles Frachtschiff I

Für den Propeller des schnellen Frachtschiffes I gelten folgende Werte für den Entwurfspunkt:

$$\text{Schubbeiwert } K_T^* = 0,170$$

$$\text{Fortschrittsgrad } J^* = 0,639$$

$$\text{Kavitationszahl } \sigma_n^* = 1,989$$

Folgende Entwurfsvarianten gelangten zur Untersuchung:

#### - Propeller P 1190

Es handelt sich um eine Auswahl nach systematischen Seriendiagrammen der Wageninger B-Serie. Das Flächenverhältnis wurde nach den in der Werftpraxis gebräuchlichen Grenzkurven von Burrell - van Manen [1] bestimmt. Es wurden die für die Wageninger-Serie Propeller gültigen Troost-Profile verwendet. Weitere geometrische Einzelheiten für diesen wie für die folgenden Propeller sind der Tabelle 1 zu entnehmen bzw. sind in der Arbeit von Wagner und Mehmel [2] enthalten.

#### - Propeller P 1191

Dieser Propeller ist ein sog. nachstromangepaßter Propeller, d. h. er ist nach der Theorie der tragenden Linie für eine radial veränderliche Nachstromverteilung (rotationssymmetrische Anströmung) als Propeller geringsten Energieverlustes nach Lerbs-van Manen [3] entworfen.

Wie bei allen folgenden Propellern wurden Profile mit der NACA Mittellinie  $a = 0.8$  und einer modifizierten Dickenverteilung nach NACA 16 angewendet.

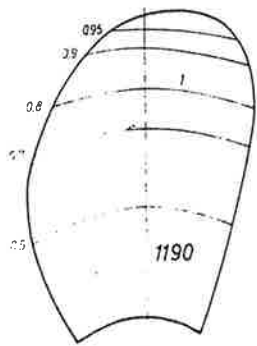
#### - Propeller P 1192

Dieser Propeller ist nach der Theorie der tragenden Linie für homogene Zuströmung (freifahrend) als Propeller geringsten Energieverlustes nach Betz [4], d. h. für die sogenannte „optimale“ Zirkulationsverteilung entworfen.

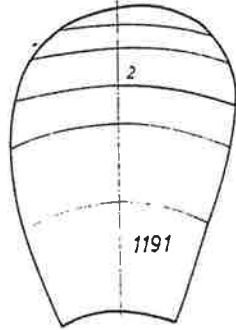
#### - Propeller P 1196

Dieser Propeller wurde nach der Traglinientheorie für eine vorgegebene, zur Flügelspitze reduzierte, radiale Zirkulationsverteilung mit Hilfe der Induktionsfaktorenmethode entworfen. Es wurden die Induktionsfaktoren nach Lerbs [5] zugrunde gelegt.

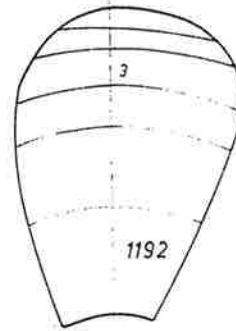
Propellervarianten für schnelles Frachtschiff I



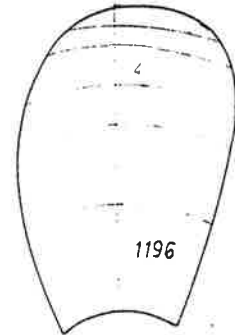
P 1190  
Wageningen-B-Serie



P 1191  
„nachstromangepasster“  
Propeller

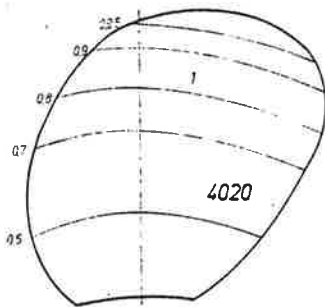


P 1192  
optimale Zirkulations-  
verteilung

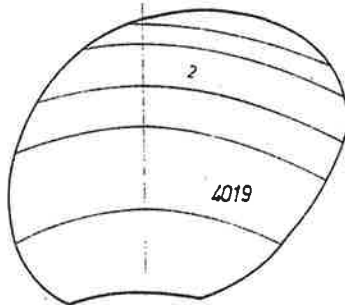


P 1196  
Induktionsfaktoren-  
methode

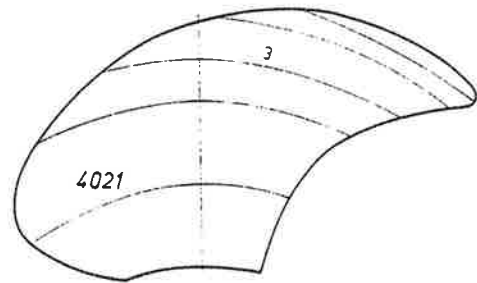
Verstellpropellervarianten für schnelles Frachtschiff II



VP 4020  
Induktionsfaktoren-  
methode  
 $\theta = 15^\circ; z = 5$

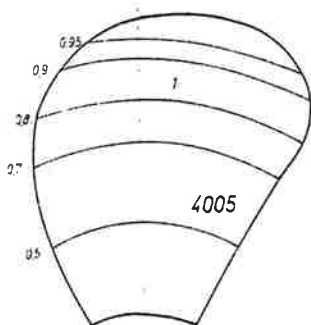


VP 4019  
Induktionsfaktoren-  
methode  
 $\theta = 15^\circ; z = 4$

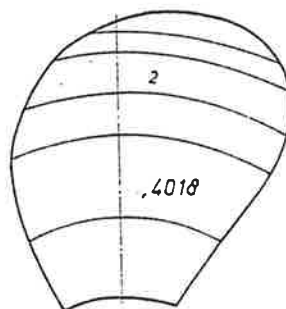


VP 4021  
Induktionsfaktoren-  
methode  
 $\theta = 13^\circ + 33 - 46^\circ$

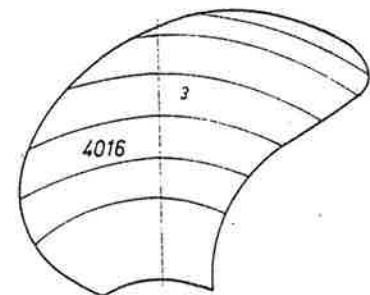
Verstellpropellervarianten für Massengutschiff



VP 4005  
„nachstromangepasster“  
Propeller



VP 4018  
Induktionsfaktoren-  
methode  
 $\theta = 12^\circ$



VP 4016  
Induktionsfaktoren-  
methode  
 $\theta = 10^\circ + 24^\circ - 34^\circ$

Abb. 1  
Flügelkonturen der untersuchten Propeller

Tabelle 1  
Angaben zu den untersuchten Modellpropellern

Propeller Nr.		P 1190	P 1191	P 1192	P 1196	VP 4005	VP 4016	VP 4018	VP 4019	VP 4020	VP 4021
Durchmesser	D [mm]	240	240	240	240	250	250	250	250	250	250
Nabendurchm. Verhältn.	$d_N/D$	0,23	0,23	0,23	0,23	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Steigungsverhältnis	$P_{0,7K}/D$	0,927	0,946	0,935	0,946	0,798	0,805	0,805	1,0158	1,0027	1,0325
Steigungswinkel	$\psi_{0,7K} [^\circ]$	22,85	23,28	23,03	23,28	19,94	20,11	20,11	24,79	24,51	25,15
Flächenverhältnis	$A_E/A_O$	0,553	0,542	0,532	0,542	0,520	0,510	0,510	0,597	0,648	0,584
Profilsehnenlänge	$C_{0,7} [mm]$	76,1	75,2	75,3	75,2	86,56	88,11	88,11	101,33	88,7	100,42
Flügelrücklage	$(\theta)_{eff} [^\circ]$	—	—	—	—	12	10+24	12	15	15	13+33
Neigung d. Erzeugend.	$\epsilon [^\circ]$	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0
Flügelanzahl	z	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4
Drehsinn		rechts	rechts	rechts	rechts	rechts	rechts	rechts	rechts	rechts	rechts
Profil		Troost			mod. NACA 16		a = 0,8				

## 2.2. Propellervarianten für ein schnelles Frachtschiff II

Für den Propeller des schnellen Frachtschiffes II gelten folgende Werte für den Entwurfspunkt:

$$\begin{aligned} \text{Schubbeiwert } K_T^* &= 0,197 \\ \text{Fortschrittsgrad } J^* &= 0,879 \\ \text{Kavitationszahl } \sigma_n^* &= 2,017 \end{aligned}$$

Folgende Entwurfsvarianten gelangten zur Untersuchung:

### – Verstellpropeller VP 4019

Dieser Propeller wurde, wie auch der Propeller P 1196 nach der Traglinientheorie für eine vorgegebene radiale Zirkulationsverteilung mit Hilfe der Induktionsfaktorenmethode entworfen.

Es wurde nach vorliegenden Erfahrungen eine als zweckmäßig einzuschätzende radiale Belastungsverteilung mit mäßiger Spitzenentlastung realisiert. Induktionsfaktoren nach Lerbs [5].

Im Unterschied zum Propeller P 1196 wurde die Steigungs-Wölbungs-Aufteilung den Blattschnitt unter Berücksichtigung des am Modell aufgemessenen axialen und tangentialen Nachstromfeldes so festgelegt, daß die kavitationsfreien Arbeitsbereiche der Blattschnitte optimal mit den quasistationären Arbeitsbereichen im Nachstromfeld harmonisieren. Die Propellerflügel besitzen eine mäßige Flügelrücklage von  $\theta = 15^\circ$ .

### – Verstellpropeller VP 4020

Dieser Propeller wurde nach den gleichen Verfahren wie der VP 4019 entworfen. Im Gegensatz zu diesem wurde die Flügelzahl von  $z = 4$  auf  $z = 5$  vergrößert, wobei nahezu das gleiche Flächenverhältnis eingehalten wurde ( $\Delta A_E/A_0 = 8,5\%$ ). Auch die Flügelrücklage  $\theta = 15^\circ$  wurde beibehalten.

### – Verstellpropeller VP 4021

Dieser Propeller wurde nach dem gleichen Verfahren wie der VP 4019 entworfen. Bei gleicher Flügelanzahl und Blattschnittlänge wurde die Flügelrücklage auf  $\theta = 13^\circ + 33^\circ = 46^\circ$  erhöht. Wobei sich die Aufteilung des Winkels auf die Beträge vor und hinter der Erzeugenden beziehen.

## 2.3. Propellervarianten für ein Massengutschiff

Für den Propeller des Massengutschiffes gelten folgende Werte für den Entwurfspunkt:

$$\begin{aligned} \text{Schubbeiwert } K_T^* &= 0,169 \\ \text{Fortschrittsgrad } J^* &= 0,474 \\ \text{Kavitationszahl } \sigma_n^* &= 2,09 \end{aligned}$$

Folgende Entwurfsvarianten gelangten zur Untersuchung:

### – Verstellpropeller VP 4005

Dieser Propeller ist nach der Theorie der tragenden Linie für eine radialveränderliche Nachstromverteilung als Propeller geringsten Energieverlustes nach Lerbs – van Manen, also entsprechend Propeller P 1191 entworfen. Er weist eine mäßige Flügelrücklage,  $\theta = 12^\circ$ , auf.

### – Verstellpropeller VP 4018

Dieser Propeller wurde nach dem gleichen Verfahren wie der VP 4019 entworfen und weist eine mäßige Flügelrücklage,  $\theta = 12^\circ$ , auf.

### – Verstellpropeller VP 4016

Dieser Propeller weist gleiche radiale Belastungs- und Wölbungs-Steigungsverteilung wie der VP 4018 aber eine erhöhte Flügelrücklage,  $\theta = 10^\circ + 24^\circ = 34^\circ$ , auf.

## 3. Nachstromfelder

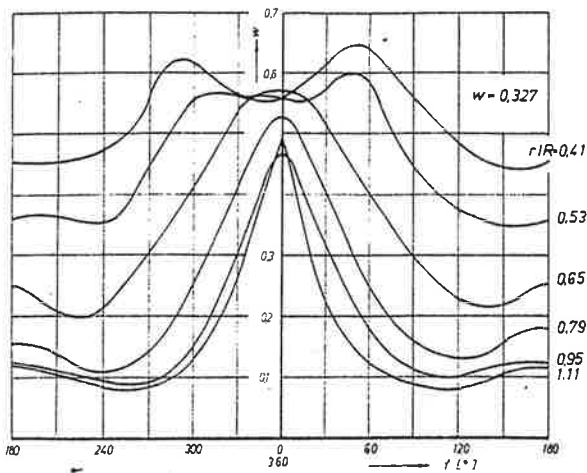
Die Nachstromfelder der drei Schiffe wurden in Anlehnung an die am Modell in der Schlepprinne aufgemessenen Nachstromfelder im Kavitationstunnel mittels Sieben simuliert. Die Aufmessung wurde mit dem im Kavitationstunnel vorhandenen Prandtl-Rechen vorgenommen. Auf sieben Radien wurden mittels Druckmessungen die Geschwindigkeiten  $V_A$  für 28 verschiedene Winkelstellungen ermittelt.

Die drei systematisch variierten Nachstromfelder wurden auf ähnliche Weise simuliert, nur waren hier die Ausgangswerte theoretischer Natur. Einen Überblick über die Nachstromverteilung auf den einzelnen Radien vermittelt Abb. 2.

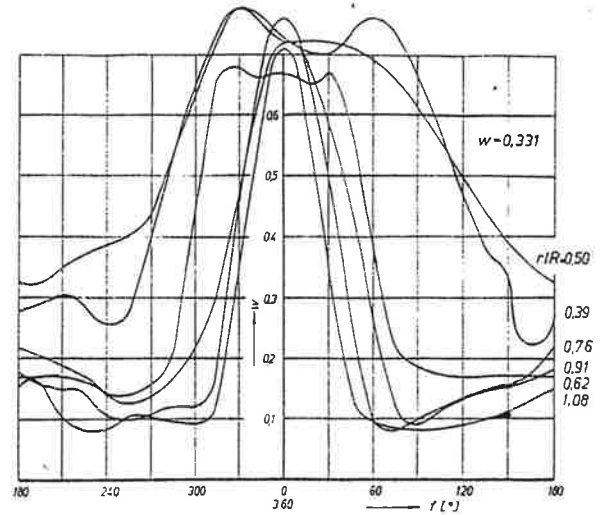
### 3.1. Nachstromfelder für schnelles Frachtschiff I [6]

Dieses Nachstromfeld weist die gleiche Nachstromziffer wie das Modell auf, jedoch ergeben sich speziell auf den beiden innersten Radien erhebliche Abweichungen dadurch, daß die Nachstromspitze nicht realisiert werden kann. Diese Schwierigkeit tritt bei allen Simulationen mittels Sieben auf, da es auf Grund der Entfernung Sieb-Propellerkreisebene zu einer Vermischung und einem Geschwindigkeitsausgleich zwischen den einzelnen hinter dem Sieb entstehenden Totgebieten kommt.

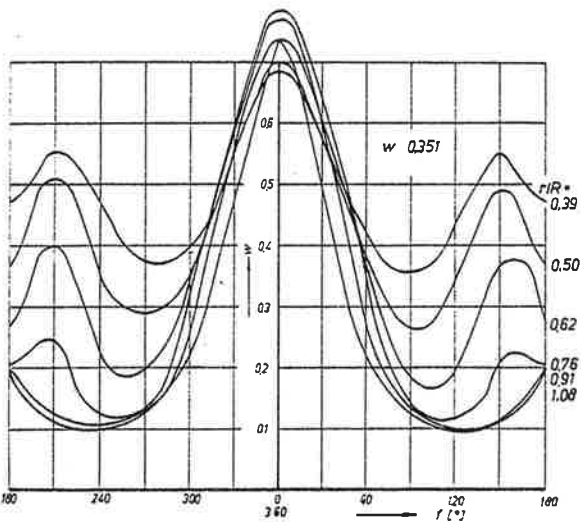
Die fehlende Nachstromspitze wirkt sich auf Grund der Integration über die Fläche auf die Nachstromziffer nur geringfügig aus, kann aber einen wesentlichen Einfluß auf das Kavitationsbild im Wurzelbereich haben.



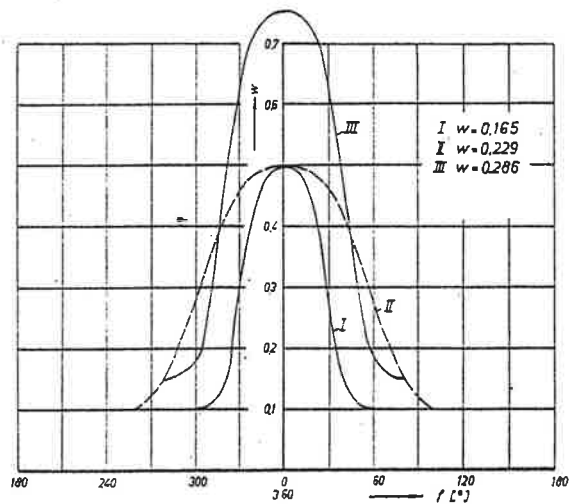
Simuliertes Nachstromfeld für schnelles Frachtschiff I [ 6 ]



Simuliertes Nachstromfeld für schnelles Frachtschiff II [ 7 ]



Simuliertes Nachstromfeld für Massengutschiff [ 8 ]



Drei systematisch variierte Nachstromfelder, Verteilung auf allen Radien konstant [ 9 ]

Abb. 2

Axiale Nachstromverteilung der zum Einsatz gelangten Nachstromsiebe

### 3.2. Nachstromfeld für schnelles Frachtschiff II [ 7 ]

Dieses Nachstromfeld weist gegenüber dem von 3.1. eine wesentlich größere Nachstromspitze auf, obwohl sich die Nachstromziffern nur unwesentlich unterscheiden. Die Abweichung zum Modell liegt in der Größenordnung von 6 %. Auch hier ist das Problem der Realisierung der Nachstromspitze beim oberen Flügeldurchgang erkenntlich. Um sie hier überhaupt auf den inneren Radien realisieren zu können, macht sich der Einsatz eines Rohres und zusätzlicher Siebe, die sich bis kurz vor den Propeller erstrecken, erforderlich.

### 3.3. Nachstromfeld für Massengutschiff [ 8 ]

Bei diesem Nachstromfeld konnte die Nachstromspitze bei  $\varphi = 0^\circ$  sehr gut durch den Einsatz eines Totholzes realisiert werden. Die Abweichung zur Nachstromziffer des Modells beträgt 4 %. Das Modell weist jedoch noch eine ausgeprägte Nachstromspitze bei  $\varphi = 180^\circ$  auf, die nur auf den äußeren Radien ausreichend genau nachgebildet werden konnte. Die Nachstromspitzen bei  $\varphi = 150^\circ$  und  $\varphi = 210^\circ$  sind unerwünscht, konnten jedoch nicht weiter beeinflusst werden, da das Sieb in diesem Bereich vollständig ge-

schlossen war und auch Verzögerungsbleche am Totholz nicht den gewünschten Effekt hervorriefen.

### 3.4. Systematisch variierte Nachstromfelder [ 9 ]

Diese drei Nachstromfelder hatten zum Ziel, den Einfluß des Gradienten in der Nachstromspitze, gemessen in Umfangsrichtung, auf die Kavitationserscheinungen und die propellerinduzierten Druckimpulse zu untersuchen. Alle 3 Felder sind bezüglich der Vertikalen durch die Propellerdrehachse symmetrisch und haben im Radienintervall  $0,6 \leq r/R \leq 1,2$  im Bereich der Nachstromspitze folgende charakteristische Eigenschaften:

- Variante I  $\Delta w \approx 0,4$
- Variante II  $\Delta w \approx 0,4$
- Variante III  $\Delta w \approx 0,6$

Dabei weisen die Varianten I und II stark unterschiedliche Gradienten auf. Die Variante III hat einen gleichen Gradienten der Nachstromspitze wie die Variante I. –

In Abb. 2 sind hierbei die vorgegebenen Verläufe dargestellt worden. Bei den Varianten I und II konnten die Vorgaben sehr gut mittels Sieben realisiert werden, während bei der Variante III ein Totholz erforderlich war.

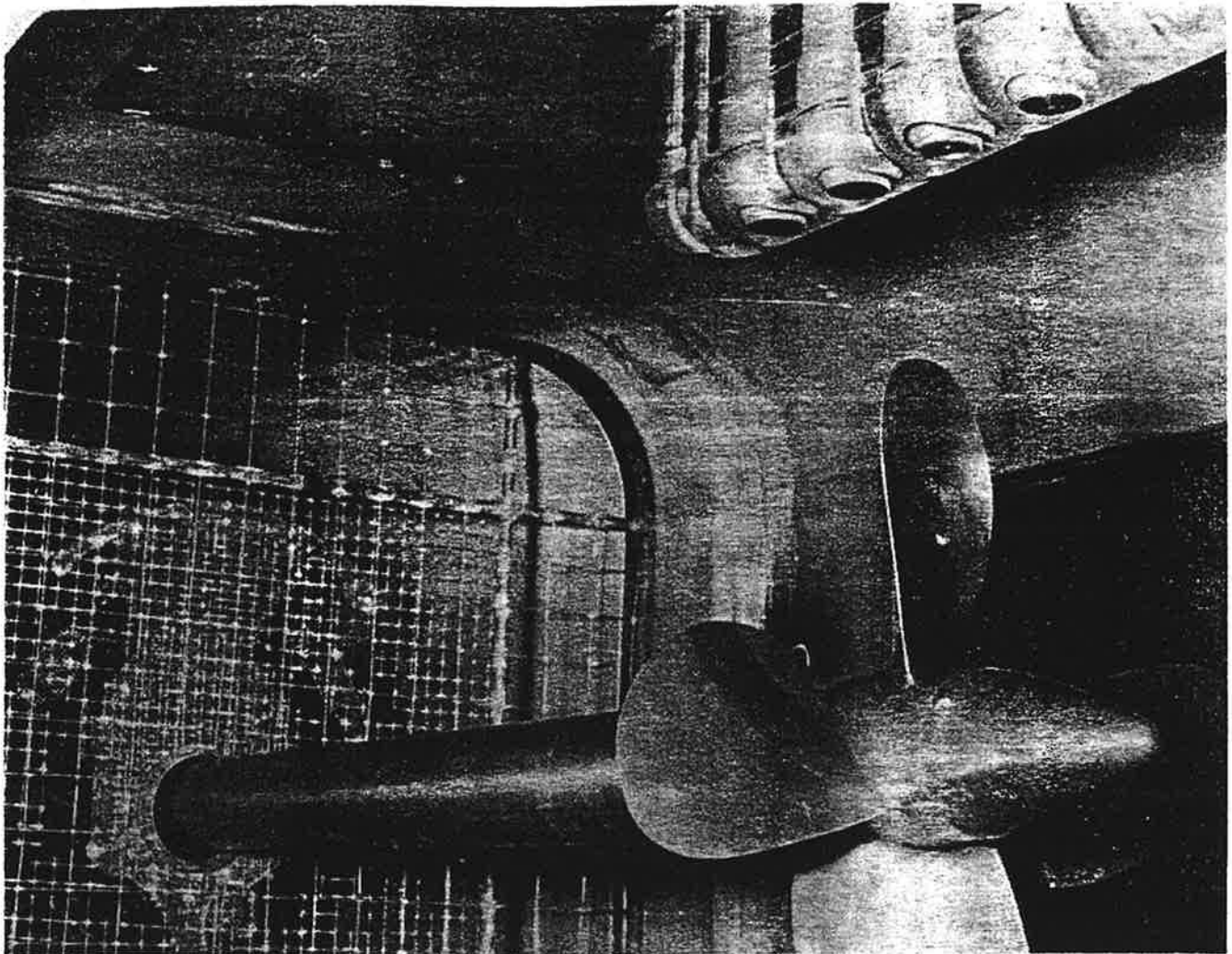


Abb. 3  
Anordnung von Druckmeßstrebe und Nachstromsieb

Damit konnte die erforderliche Änderung von  $d_w$  realisiert werden, jedoch ist der Gradient  $d_w/d\varphi \approx 1,3$  um 30 % größer als der Vorgabewert, d. h., die periphere Ausdehnung entspricht der von Variante I.

#### 4. Experimentelle Ermittlung der Druckimpulse

Auf eine umfassende Beschreibung des Versuchsaufbaus kann hier verzichtet werden, da dies schon in [10] bzw. [11] erfolgte; siehe hierzu auch Abb. 3.

Es soll nur die Zuordnung zwischen Membran, deren Durchmesser 16,5 mm beträgt, und Propellerkreisebene dargestellt werden, da diese bei den verschiedenen Experimenten nicht einheitlich war.

Bei der Untersuchung der Propeller des schnellen Frachtschiffes I befand sich die Mitte der Membranebene normal über dem Austritt der Erzeugenden aus der Flügelspitze. Der senkrechte Abstand zum Propellerkreis betrug bei den Messungen 0,3 D.

Die Messungen für die Propeller des schnellen Frachtschiffes I erfolgten in einem Feldpunkt der einen horizontalen Abstand zum Propellerkreis von 0,29 D hatte und 0,1 D stromaufwärts von der Propellerkreisebene lag. Die analogen Werte für das Massengutschiff lauten 0,27 D bzw. 0,14 D.

Alle Propeller wurden im Entwurfsunkt bei verschiedenen Kavitationszahlen, darunter der Entwurfskavitationszahl untersucht. Die Zuströmung war sowohl homogen als auch inhomogen durch die simulierten Nachstromfelder.

Aus der Tabelle 2 ist die Zuordnung von Propellern und Nachstromfeld ersichtlich.

Im Ergebnis der Druckimpulsmessungen an einem Propeller erhält man ein Amplituden-Frequenzspektrum der Druckschwankungen, einen Schrieb der Druckschwankungen des ungefilterten Drucksignals und ein Amplituden-Frequenzspektrum der Vertikalschwingbeschleunigungen der Meßeinrichtung. Gleichzeitig wurden bei den Zuständen mit Kavitation die Kavitationserscheinungen skizziert, wobei dies im simulierten Nachstrom für verschiedene Winkelstellungen  $\varphi$  erfolgte.

Tabelle 2  
Übersicht über die Zuordnung von Propeller und Nachstromfeld

Nachstromfeld	Propeller	Frachtschiff I	Frachtschiff II	Massengutschiff	systemat. variierte Nachstromfelder		
					I	II	III
P 1190		×					
P 1191		×					
P 1192		×					
P 1196		×					
VP 4019			×		×	×	×
VP 4020			×				
VP 4021			×		×	×	×
VP 4005				×			
VP 4016				×			
VP 4018				×			

## 5. Diskussion der Ergebnisse

Entsprechend der Zielstellung der Arbeit sollen hier im wesentlichen die Einflüsse der Propellergeometrie auf die propellerinduzierten Druckimpulse untersucht werden.

Dabei ist dem Fachmann sofort klar, daß die Druckimpulse speziell bei zeitlich veränderlicher Kavitation, wie sie im Nachstrom auftritt, erheblich durch diese beeinflusst werden können und daß ein direkter Zusammenhang zwischen Propellergeometrie und Kavitationsanfälligkeit besteht. Die direkte Einbeziehung der Kavitationsbeobachtungen in die Diskussion würde allerdings den vom Verfasser gesteckten Rahmen sprengen.

Deshalb soll dies hier nur am Rande erfolgen. Ausführlichere Informationen hierzu sind den entsprechenden Versuchsberichten [12], [13], [14] und [15] zu entnehmen.

Allgemein kann man davon ausgehen, daß beim mit Kavitation in homogener Anströmung arbeitenden Propeller die kavitationsbedingten Anteile der Druckamplituden aus der Verdrängungswirkung des umlaufenden Hohlraumes resultieren. Es dominiert der Anteil der ersten Blattfrequenz und die zweite Blattfrequenz ist gering. Beim kavitierenden Propeller im simulierten Nachstrom treten Druckamplituden bis zur sechsten Blattfrequenz auf, die recht beträchtliche Werte erreichen können. Unter Blattfrequenz soll hier das Produkt aus Propellerdrehzahl  $n$  und Flügelzahl  $z$  verstanden werden. Die gegenüber homogener Anströmung wesentlich größeren Druckamplituden resultieren hauptsächlich aus der zeitlichen Volumenänderung des Hohlraumes am Flügel bei einer Umdrehung. Zum näheren Verständnis der weiter unten angeführten Abbildungen sei darauf verwiesen, daß bezüglich der zulässigen Druckimpulse noch keine konkreten Vorschriften existieren. Allerdings wird z. B. von Weitendorf [16] ein Kriterium angeführt, woraus zu entnehmen ist, daß für Handelsschiffe ein Grenzbereich von 4–8 kPa nicht überschritten werden sollte.

### 5.1. Einfluß des Entwurfsverfahrens

In Abb. 4 wurden die auf die Großausführung umgerechneten Druckamplituden für den Entwurfspunkt für die Propeller des schnellen Frachtschiffes I und des Massengutschiffes gegenübergestellt. Daraus ist sofort ersichtlich, daß die Propeller P 1196 bzw. VP 4018 unter allen Bedingungen die geringsten Druckamplituden für den jeweiligen Schiffstyp hervorrufen. Es ist weiterhin zu erkennen, daß beim schnellen Frachtschiff I die Unterschiede beim kavitationsfreien Zustand zwischen homogener und inhomogener Zuströmung sehr gering und beim Massengutschiff wesentlich größer sind. Die Ursache hierfür ist in der wesentlich steileren und größeren Nachstromspitze des Massengutschiffes zu suchen.

Aus dem Vergleich der verschiedenen Entwurfsverfahren lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- Ein nach Seriendiagramm entworfener Propeller kann besser sein als ein Propeller, der nach einem schlechten Entwurfsverfahren ausgelegt wurde.
- Von den vom Propellerprojektanten des DMR eingesetzten Entwurfsverfahren ist der Entwurf nach der Traglinientheorie für eine vorgegebene zur Flügelspitze reduzierte, radiale Zirkulationsverteilung unter zu Hilfenahme der Induktionsfaktorenmethode bezüglich der propellerinduzierten Druckimpulse am erfolgversprechendsten. Dieses Verfahren erhielt eine weitere Verfeinerung beim VP 4018 sowie den Propellern des schnellen Frachtschiffes II, welche zu einer noch besseren Anpassung an das vorgegebene Nachstromfeld führten, d. h. zu noch günstigerem Kavitationsverhalten und geringeren Druckimpulsen.

Die Messungen zeigten außerdem, daß unabhängig vom Entwurfsverfahren, erst oberhalb einer mit Kavitation belegten Flügelfläche von 10 % eine meßbare Beeinflussung des Drucksignals vorliegt.

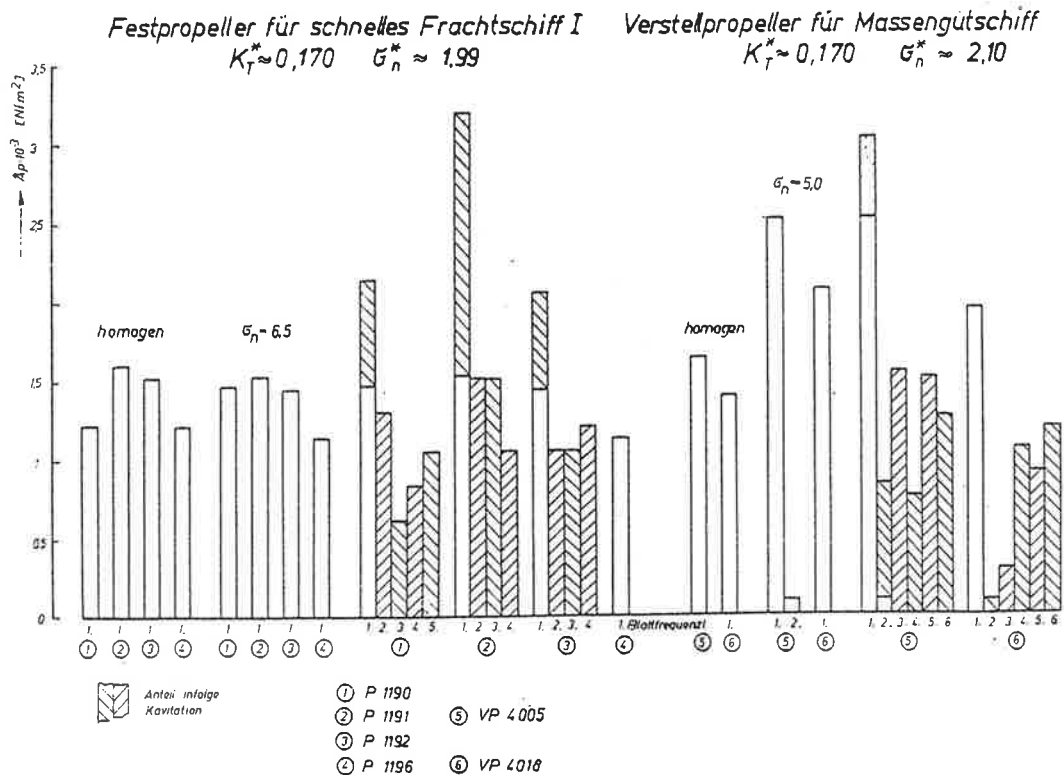


Abb. 4  
Einfluß des Entwurfsverfahrens auf die propellererregten Druckimpulse

Verstellpropeller für schnelles Frachtschiff II  
 $K_T^* \approx 0,197$

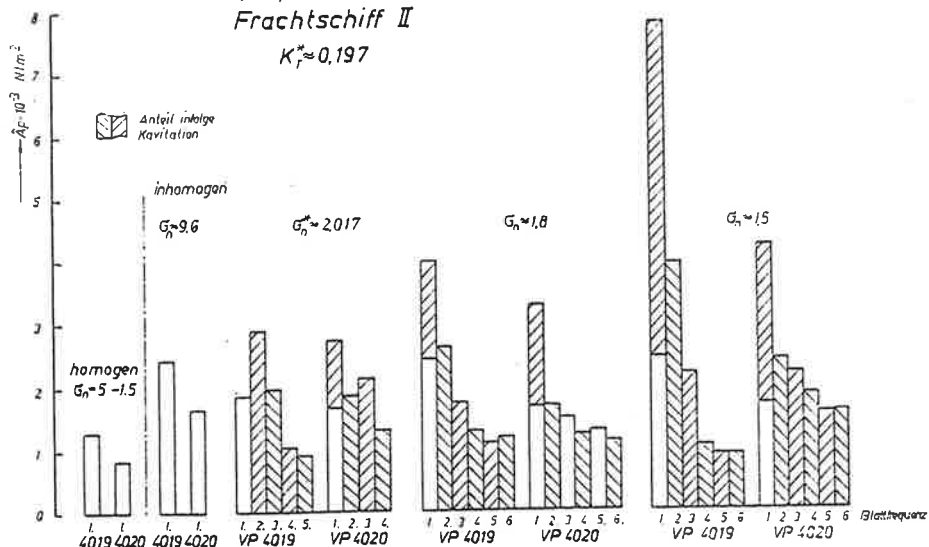


Abb. 5  
 Einfluß der Flügelanzahl auf die propellerinduzierten Druckimpulse

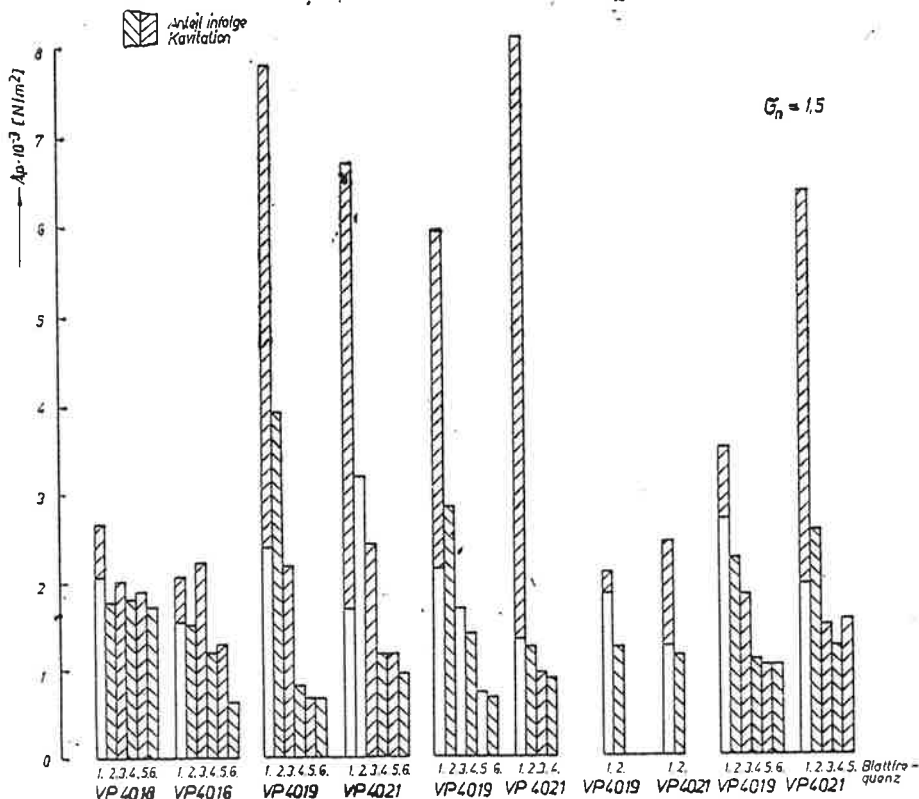
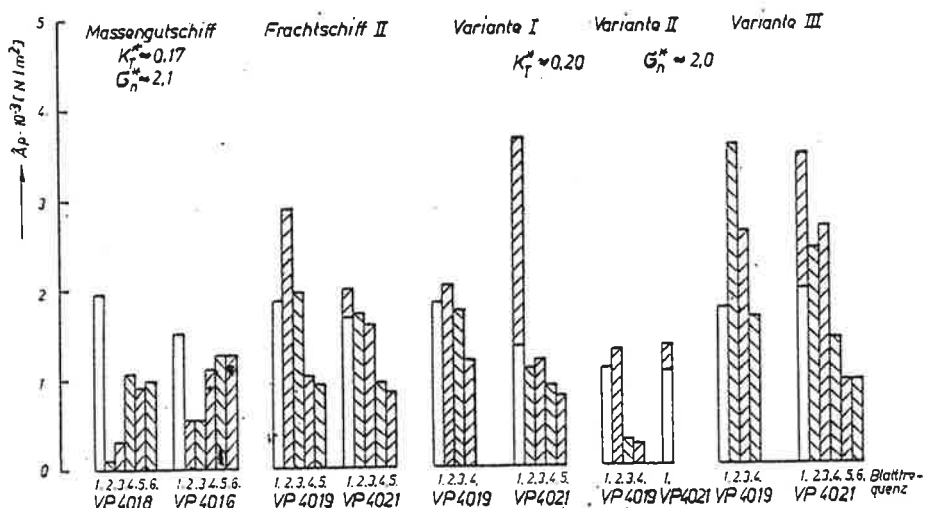


Abb. 6  
 Einfluß der Flügelrücklage auf die propellerinduzierten Druckimpulse



### 5.2. Einfluß der Flügelanzahl

Der Einfluß der Flügelanzahl auf die propellererregten Druckimpulse ist aus Abb. 5 ersichtlich. Hieraus geht hervor, daß der 5flügelige Propeller dem Propeller mit 4 Flügeln überlegen ist. Erstaunlich ist, daß für die Zustände ohne Kavitation die Verminderung der Druckamplituden größer ist, als aus der Reduzierung der Flügelbelastung zu erwarten wäre. Jedoch gerade für die Entwurfskavitationszahl sind keine hervorstechenden Differenzen abzulesen. Lediglich die Größe der 1. und 2. Blattfrequenz ist vertauscht. Um eine präzisere Aussage machen zu können, wäre eine umfangreichere Versuchsreihe notwendig gewesen.

Bei kleineren Kavitationszahlen sind die Druckamplituden der 1. und 2. Blattfrequenz des 5flügeligen Propellers wesentlich geringer.

### 5.3. Einfluß der Flügelrücklage (skew)

In Abb. 6 wurden die Ergebnisse der Druckimpulsmessungen für die Propeller mit mäßiger Flügelrücklage und ihre entsprechenden Ausführungen mit erhöhter Flügelrücklage gegenübergestellt. Daraus ist ersichtlich, daß bei einem gegebenen Entwurf durch Erhöhung der Flügelrücklage eine weitere Verminderung der propellererregten Druckimpulse erzielt werden kann. Beim schnellen Frachtschiff II trifft dies allerdings nur für die Entwurfskavitationszahl zu, während beim Massengutschiff diese Aussage auch für ausgeprägte Kavitation zutrifft. Hier spielt jedoch auch die Frage der Ausbildung des Nachstromfeldes und der Kavitationsentwicklung eine entscheidende Rolle.

Die Untersuchungen in den drei systematisch variierten Nachstromfeldern zeigen bezüglich des skew keine Vorteile für diese Variante. Dies läßt den Schluß zu, daß die Voraussetzung für eine Verbesserung mittels skew eine ausreichend gute Nachstromanpassung ist, die auf Grund der Auslegung dieses Propellers für das schnelle Frachtschiff II nicht gegeben war.

Eine weitere schon bekannte Tatsache wird durch diese Untersuchungen noch unterstrichen, nämlich der entscheidende Einfluß der peripheren Nachstromverteilung auf die Druckimpulse.

Die Variante II hat in dieser Beziehung die günstigsten Eigenschaften. Überraschend ist allerdings das Verhältnis

### Zusammenfassung

Ausgehend von der Notwendigkeit Schiffspropeller mit guten, hydrodynamisch bedingten, Gebrauchseigenschaften zu projektieren, werden Erfahrungen mitgeteilt, die bei der Ermittlung der propellererregten Druckimpulse an insgesamt 10 verschiedenen Propellern im Kavitationstunnel der Schiffbau-Versuchsanstalt gesammelt wurden. Dabei wird der Einfluß der Propellerentwurfsmethode auf das Erregerniveau an Propellervarianten ohne und mit erhöhter Flügelrücklage für zwei schnelle Frachtschiffe und ein Massengutschiff deutlich gemacht.

### Резюме

Исходя из необходимости проектирования гребных винтов с хорошими гидродинамическими характеристиками сообщаются результаты опытов с 10 различными гребными винтами в кавитационной трубе опытового бассейна. Показано влияние метода проектирования гребного винта на уровень возбуждения на примере вариантов винтов без и с повышенным наклоном для двух скоростных транспортных судов и одного судна для навалочного груза.

der Druckimpulse von den Varianten I und III, denn vom Nachstromfeld her wäre zu erwarten gewesen, daß die Druckimpulse für die Propeller hinter Variante III wesentlich größer sind. Das Experiment bestätigte diese Erwartungen nicht im vollen Umfang. Die Kavitationsbeobachtungen selbst zeigten, daß die Kavitationsausdehnung bei der Variante I größer war als bei Variante III, während der kavitationsfreie Bereich sich umgekehrt verhielt. Es ist zu vermuten, daß auf Grund des starken Gradienten und der geringen Breite der Nachstromspitze Schwingungsvorgänge des Kavitationshohlraumes nicht ohne Einfluß auf die Druckimpulse sind.

### 6. Zusammenfassung

Die im DDR-Propellerbau angewendete Entwurfsmethode, die durch eine zweckmäßige Entlastung des Flügelspitzenbereiches und eine optimale Anpassung des Verhältnisses von Profilwölbung und -anstellung an das jeweils vorliegende ungleichförmige Nachstromfeld des Schiffes gekennzeichnet ist, zeigt gute Kavitationseigenschaften und geringe propellererregte Druckimpulse.

Der Einfluß der Flügelzahl, die an einem 4- und 5flügeligen Propeller untersucht wurde, zeigt Vorteile für die Variante mit 5 Flügeln bei Zuständen ohne Kavitation und bei ausgeprägter Kavitation. Die Auswahl der Flügelzahl sollte aber in Abstimmung mit der Eigenfrequenz des Schiffes vorgenommen werden, da von beiden Varianten nicht der empfohlene Grenzwert überschritten wird.

Die Propeller mit erhöhter Flügelrücklage zeigen in dem Nachstromfeld, für das sie nach der oben angeführten Methode ausgelegt wurden, eine weitere Verminderung der Druckimpulse.

Wie die Untersuchungen in drei systematisch variierten Nachstromfeldern zeigen, bringt hier der skew-Propeller keine wesentlichen Vorteile, da dieser Propeller nicht an diese Nachstromfelder angepaßt war. Es wird weiterhin der Fakt bestätigt, daß ein möglichst gleichmäßiges Nachstromfeld mit einer niedrigen Spitze und geringen Gradienten wesentlich stärker die Druckimpulse beeinflussen kann als ein noch so guter Propellerentwurf bei einem schlechten Nachstromfeld.

### Summary

In view of the necessity of designing marine propellers with good hydrodynamic properties, this article presents experience gained in measuring propeller induced pressure pulses on 10 different propellers in the cavitation tunnel belonging to the Experimental Ship Research Establishment. The effect of the design principles used for a propeller on the level of excitation is described clearly by means of propeller versions with normal and above normal blade sweep that were designed for two high speed cargo carriers and a bulk carrier.

### Résumé

En partant de la nécessité de faire des projets d'hélices ayant de bonnes caractéristiques hydrodynamiques, l'auteur communique des expériences acquises dans le tunnel de cavitation du Centre de recherches de construction navale lors de la détermination des impulsions de pres-



sion initiées par l'hélice; ces mesures ont été faites sur 10 hélices.

L'auteur montre l'influence de la méthode d'études de l'hélice sur le niveau d'excitation des hélices de deux

cargos rapides et d'un vracquier, dont les pales avaient une inclinaison augmentée vers l'arrière (« skew ») tout en comparant les résultats avec ceux d'une hélice à pales conventionnelles.

## Literatur

1. MANEN, J. D. van:  
Enige beschouwingen over cavitatie-criteria.  
Ship en Werf.  
Rotterdam 22 (1955) 1, S. 10-17.
2. WAGNER, K., MEHMEL, M.:  
Ergebnisse bei der Anwendung von Berechnungen und Experimenten zur Entwicklung von Propellern mit guten Gebrauchseigenschaften.  
Schiffbauforschung, Rostock 19 (1980) 1, S. 53-65.
3. MANEN, J. D. van, TROOST, L.:  
The Design of Ship Screws of Optimum Diameter for an Unequal Velocity Field.  
Paper of the New England Section of the SNAME, 1952.
4. BETZ, A.:  
Schraubenpropeller mit geringstem Energieverlust.  
Vier Abhandlungen zur Hydrodynamik und Aerodynamik.  
Göttingen 1927.
5. LERBS, W.:  
Moderately Loaded Propellers.  
Transactions of SNAME, New York 60 (1952) S. 73-117.
6. GÜNTHER, B.:  
Simulierung des nominellen axialen Mitstromfeldes für ein schnelles Frachtschiff.  
Bericht Nr. 991 der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam 1975, unveröffentlicht.
7. BÖER, W.-B.:  
Simulierung des nominellen axialen Mitstromfeldes im kleinen Meßquerschnitt des Kavitationskanals für ein schnelles Frachtschiff.  
Bericht Nr. 991 der Schiffbau-Versuchsanstalt.  
Potsdam 1975, unveröffentlicht.
8. GÜNTHER, B.:  
Simulierung des nominellen axialen Mitstromfeldes für ein Massengutschiff.  
Bericht Nr. 968 der Schiffbau-Versuchsanstalt.  
Potsdam 1975, unveröffentlicht.
9. BÖER, W.-B.:  
Simulierung systematisch variierten Nachstromfelder.  
Bericht Nr. 1362 der Schiffbau-Versuchsanstalt.  
Potsdam 1981, unveröffentlicht.
10. MEHMEL, M.:  
Meßeinrichtung für den Kavitationskanal zur Ermittlung der vom Propeller ausgehende Druckimpulse.  
Bericht Nr. 1108 der Schiffbau-Versuchsanstalt.  
Potsdam 1977, unveröffentlicht.
11. SELKE, W., MEHMEL, M.:  
Meßeinrichtung für den Kavitationskanal zur Ermittlung der vom Propeller ausgehenden Druckimpulse.  
Seewirtschaft, Berlin 11 (1979) 4, S. 193-195.
12. MEHMEL, M.:  
Messung der von den Modellpropellern P 1190, P 1191, P 1192 und P 1196 ausgehenden Druckimpulse im Kavitationskanal bei homogener Zuströmung und simulierten Nachstrom.  
Bericht Nr. 1118 der Schiffbau-Versuchsanstalt.  
Potsdam 1978, unveröffentlicht.
13. MEHMEL, M.:  
Messung der von den Propellern VP 4005, VP 4016 und VP 4018 abgestrahlten Druckimpulse im Kavitationskanal bei homogener Zuströmung und im simulierten Nachstrom.  
Bericht Nr. 1245 der Schiffbau-Versuchsanstalt.  
Potsdam 1979, unveröffentlicht.
14. MEHMEL, M.:  
Messung der von den Propellern VP 4019, VP 4020 und VP 4021 abgestrahlten Druckimpulse im Kavitationstunnel bei homogener Zuströmung und im simulierten Nachstrom.  
Bericht Nr. 1312 der Schiffbau-Versuchsanstalt.  
Potsdam 1980, unveröffentlicht.
15. MEHMEL, M.:  
Die von den Propellern VP 4019 und VP 4021 abgestrahlten Druckimpulse in drei systematisch variierten Nachstromfeldern.  
Bericht Nr. 1376 der Schiffbau-Versuchsanstalt.  
Potsdam 1982, unveröffentlicht.
16. WEITENDORF, E. A.:  
Cavitation and its Influence on Induced Hull Pressure Amplitudes.  
Symposium on Hydrodynamics of Ship and Offshore Propulsion Systems, DNV, Oslo 1977.

Verfasser: Dr.-Ing. M. Mehmel  
VEB Kombinat Schiffbau  
Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam