

Untersuchung der Nachstromverteilung an einem 2-Schrauben-Binnengütermotorschiff

von Dipl.-Ing. G. Luthra

167. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Duisburg
Institut an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule, Aachen



Sonderdruck aus der Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen

Heft 11 - November 1976 - Seite 394-400

Untersuchung der Nachstromverteilung an einem 2-Schrauben-Binnengütermotorschiff

1. Einleitung

Die Kenntnis der Nachstromverteilung hinter einem Schiff ist von großer Bedeutung für die Auslegung des Propellers, für die Beurteilung der zu erwartenden Schub- und Drehmoment-schwankungen sowie für Rückschlüsse auf etwaige anzustrebende Formkorrekturen zur Verbesserung der Propulsionseigenschaften des Schiffes.

Wegen des hohen, dafür erforderlichen Versuchsaufwands, sind Nachstrommessungen keine Regelversuche. In der Versuchstechnik wird die mittlere Nachstromziffer vielmehr auf dem Umweg über Schub- bzw. Momentenidentität ermittelt. Abgesehen davon, daß sich die beiden Werte mehr oder minder voneinander unterscheiden, liefert die über Schub- bzw. Momentenidentität gewonnene Nachstromziffer keine Auskunft über die örtliche Verteilung der Zustromgeschwindigkeiten. Eine ungleichförmige Zuströmung zum Propeller hat u. U. einen sehr ungünstigen Einfluß auf die Erregung von Schiffsschwingungen. Dies gilt um so mehr als in den letzten Jahren immer größere Antriebsleistungen installiert werden, wodurch die durch ungleichmäßige Zuströmung hervorgerufene schwankende Propellerbelastung gegebenenfalls in stärkerem Maße auftritt.

Bei Binnenschiffen ist dieses Problem besonders schwierig, da bei der großen Volligkeit der Güterschiffe und der Wassertiefen- und Tiefgangsbeschränkung ein sehr ungleichförmiger Nachstrom festzustellen ist. Darüber hinaus müssen die höheren Antriebsleistungen nach wie vor über kleine Propellerdurchmesser abgegeben werden, und

in der Wahl der Propellerlage relativ zum Schiff besteht keine Freizügigkeit.

Zur systematischen Ermittlung der Nachstromverhältnisse an verschiedenen Binnenschiffstypen sind in [1, 2 und 4] bereits Untersuchungen an 1-S-Gütermotorschiffen (GMS) und an einem 2-S-Schubboot im Zweigliedrig-Zwillingsverband durchgeführt worden. Diese werden in der vorliegenden Arbeit für ein 2-S-GMS mit $L = 85,0 \text{ m}$ x $B = 9,5 \text{ m}$ — als eine weitere wichtige Typschiffvariante — fortgesetzt.

Die Linien der untersuchten Zweischrauben-Variante wurden im Rahmen der Entwurfsarbeiten und Versuchsreihen zur Formgebung des EUROPA-GMS [3] in der VBD entwickelt. Sie konnten dort aber als $9,5 \text{ m}$ breites Schiff modellmäßig nicht untersucht werden. Für die vergleichende Bewertung wurden deshalb Propulsionsergebnisse aus Modellversuchen mit einem

Schiff nahezu gleicher Formgebung aber größeren Hauptabmessungen benutzt. Die vorliegende Arbeit schließt die Widerstands- und Propulsionsmessungen ein und ergänzt somit auch die bisherigen Unterlagen über Leistungskenngrößen dieses Typschiffes.

Propulsionsmessungen waren außerdem erforderlich, um eine Zuordnung von Propellerdrehzahl und Fahrgeschwindigkeit für die Nachstrommessungen zu ermitteln. Aus diesen ist ferner der jeweilige effektive Nachstrom nach dem üblichen Verfahren der Schubidentität errechnet und dem entsprechenden Volumenmittelwert des nominellen Nachstroms gegenübergestellt worden. Die vergleichende Gegenüberstellung dient dem Zweck, zu prüfen, ob die bei Einschrauben festgestellten [1], auf flachem Wasser z. T. erheblichen Unterschiede zwischen den beiden Nachstromarten auch im vorliegenden Fall in gleicher Weise auftreten.

2. Übersicht über die Versuche

Tank	190 m langer und 9,8 m breiter Versuchstank der VBD; ruhendes Wasser. Wassertiefe $h = 400$ und 280 mm entsprechend $5,0$ bzw. $3,5 \text{ m}$ in Natur.							
Modell	M 837 — 2-S-Binnengütermotorschiff							
$\lambda = 12,5$	(s. Datentabelle sowie Abb. 1)							
Anhänge	je Propeller 2-Flächen-Profilruder und 1 Wellenbock							
Turbulenz erzeuger	1 mm ϕ Stolperdraht a. Spt. 17 und 19							
Propeller	P 73 r/l (s. Datentabelle)							
Versuchsdaten	Was-ser-höhe	Tief-gang	Wasserhöhen-Ver-hältnis		Ver-drän-gung	Lei-stung	Dreh-zahl	Ge-schwin-digkeit
Nachstrommessungen	h	T	$\frac{h}{h-T}$	$\frac{h}{T}$	V	P_D	n_s	V_s
	[m]	[m]	[—]	[—]	[m ³]	[PS]	[UPM]	[km/h]
		2,5	2,00	2,00	1705,7		445,0	17,00
	5,0	2,8	2,27	1,79	1931,0	2 x 500	443,0	16,05
		3,2	2,78	1,56	2244,3		441,0	14,90
	3,5	2,5	3,50	1,40	1705,7	2 x 500	438,0	14,00

¹⁾ Die Mittel zur Durchführung dieser Untersuchung stellte dankenswerterweise das Ministerium für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen zur Verfügung.

²⁾ Der ausführliche Bericht mit 28 Abbildungen kann von der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Postfach 10 12 28, 4100 Duisburg 1, gegen Erstattung der Kopierkosten bezogen werden.

Meßebeane	0,4 D _p vor Nabenvorderkante 142 Meßpunkte in den Schnittpunkten eines Feldnetzes von 15 x 10 mm Teilung
Meßreihe	a) ohne Propeller b) mit arbeitendem Propeller
Messung	mittels zwei Dreikanal-Zylinder-Staurohren von 6 mm ϕ in 150 mm seitlichem Abstand über sechs Druckdosen und sechs Meßverstärker. Meßwerterfassung über „Saba“ EDE-Anlage der VBD.

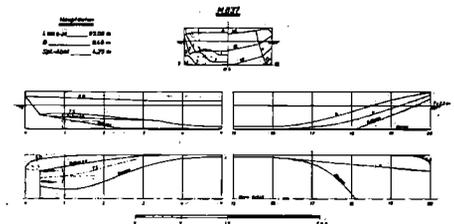


Abb. 1

Zur Ermittlung der Nachstromverteilung wurden die örtlichen Geschwindigkeiten in den Schnittpunkten eines netzartig verteilten Gitters in einer zur Längsachse senkrechten Ebene im Abstand von $0,4 \times D_p$ vor dem Propeller sowohl ohne als auch mit arbeitendem Propeller gemessen. Die Entfernung zwischen den Meßpunkten betrug 15 mm in der horizontalen und 10 mm in der vertikalen Richtung. Die Messungen erfolgten mittels zwei in der VBD angefertigter und bisher benutzter Zylinderstaurohre von 6 mm Außendurchmesser. Der Versuchsaufbau ist in [4] beschrieben und wird deswegen nicht wiederholt. Aus Symmetrie-Gründen wurde das Nachstromfeld nur auf einer Seite bzw. vor einem Propeller aufgemessen. Die Schiffgeschwindigkeiten zum Aufmessen des Nachstroms bei verschiedenen Wassertiefen / Tiefgangsverhältnissen wurden aus den zugehörigen Propulsionsversuchen jeweils für gleiche Leistung von 2×500 PS ausgesucht.

2.1 Modell- und Propellerdaten

Modell M 837

Länge zw. den Loten	L _{pp}	[m]	6,800		
Länge über alles	L _{üA}	[m]	6,800		
Breite a. Spt.	B _{a.Spt.}	[m]	0,757		
Tiefgang	T	[m]	0,200	0,224	0,256
Länge in der WL	L _{WL}	[m]	6,604	6,676	6,768
Verdrängung	V	[dm ³]	873,3	988,7	1149,1
Benetzte Oberfläche	S	[dm ²]	692,3	729,5	778,5
Völligkeit	δ_{WL}	[m]	0,874	0,874	0,876
Verdrängungsschwerpunkt	LCB	[m vor] [Spt.0]		3,376	

UK Spiegel über Basis	[mm]	115,0
Propeller vor Spt.0	[mm]	320,0
seitlicher Abstand der Propeller	[mm]	384,0
Höhe Propellerwelle über Basis	[mm]	64,8

Propeller P 73 r/l

Durchmesser	D	[mm]	120,0
Steigungsverhältnis	P/D	[—]	0,65
Flächenverhältnis	A _E /A _O	[—]	0,56
Flügelzahl	Z	[—]	4
Profillänge	c _{0,7 R}	[mm]	36,09

3. Versuchsdurchführung

Das zur Durchführung der Versuche benutzte Modell wurde nach den vorhandenen Entwurfsunterlagen [3] im Maßstab 1:12,5 hergestellt. Mit diesem Maßstab ergibt sich ein großes Modell, dessen Länge von $L = 6,8$ m für den Versuchstank jedoch noch vertretbar ist. Wegen der unvermeidlichen Störeinflüsse durch die Staurohre beim Messen der örtlichen Zuströmungsgeschwindigkeiten war es notwendig, das

Modell möglichst groß zu halten, damit diese relativ gering bleiben. Die Vor- und Hinterschiffslinien werden in Abb. 1 wiedergegeben. Die Modell- und Propellerdaten sind in Datentabelle 2.1 enthalten.

Eine Übersicht über die Versuche sowie die wesentlichen Versuchsdaten für die Nachstrommessungen sind in 2.0 in Tabellenform zusammengestellt worden. Widerstands- und Propulsionsversuche gingen den jeweiligen Nachstrommessungen voraus.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Widerstands- und Leistungsmessungen

Die Ergebnisse der Widerstands- und Propulsionsversuche sind in Abb. 2 für die Wassertiefe von $h = 5,0$ m aufgetragen, während die Leistungskenngößen in Abb. 3 dargestellt werden.

Der Vergleich der Ergebnisse mit denen der anderen Zweischrauben-Varianten in [3] zeigt, daß die vorliegende Form den anderen überlegen ist. Gegenüber den Einschraubern wird sie jedoch von den dort untersuchten Endformen A und B hinsichtlich des Bedarfs an Antriebsleistung unterboten. Im Schleppwiderstand ist kein nennenswerter Unterschied festzustellen. Die beiden Formen A und B unterscheiden sich in der Bugformgebung. Form A besitzt ein Pontonvorschiff, während das Vorschiff des Einschraubers B, wie auch der hier untersuchten Variante in Keilspantform ausgeführt ist. Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der beiden letztgenannten Varianten (gleiches Vorschiff, jedoch Ein- bzw. Zweischrauber) für den Vergleichszustand $h = 5,0$ m, $T = 2,5$ m und $V = 16,0$ km/h gegenübergestellt.

			1-Schrauber	2-Schrauber
Wasserverdrängung	V	[m³]	1690	1706
Schleppleistung	P _E	[EPS]	312	331
Spez. Widerstand	R/V	[kp/m³]	3,12	3,27
Leistungsbedarf	P _D	[WPS]	613	2 x 378
Propulsionsgütegrad	η _D	[—]	0,509	0,438
Nachstromziffer	w _T	[—]	0,430	0,247
Sogziffer	t	[—]	0,164	0,240

Der ungünstige Leistungsbedarf des Zweischraubers ist vor allem auf die geringe Nachstrom- und höhere Sogziffer zurückzuführen. Beide zusammen ergeben einen sehr ungünstigen Schiffseinflußgrad. Die geringere Nachstromziffer ist bedingt durch die Zweischraubenanordnung, während die höhere Sogziffer zum Teil durch den kleineren Propellerdurchmesser zu erklären ist.

Ein für die praxisnahe Bewertung besonders geeigneter Vergleich, der

die Tragfähigkeit der verschiedenen Ladungsträger mit berücksichtigt, ist der TRANSPORTGÜTEGRAD in der

$$\text{Form } \eta_T = \frac{L \cdot V}{P_{Se}} \quad (\text{gefährdete Ladungs-}$$

tonnen-Kilometer je PS Leistung und Stunde). Er ist jedoch nur dann als Vergleichsmaßstab geeignet, wenn die Randbedingungen „FAHRWASSER“ in Breite und Tiefe identisch sind.

Für den Transportgütegrad ergibt sich der folgende Vergleich:

	P _D [WPS]	Verdrängung V in [m³]	Ladung [t]	V _s [km/h]	Transportgütegrad $\left(\frac{t \cdot km}{P_{Se} \cdot h} \right)$
B ₁ T = 2,5 m	1000	1690	1290	17,6	21,62
B ₂ T = 2,5 m	1000	1705	1300	17,0	21,05
B ₂ T = 3,2 m	1000	2244	1840	14,9	26,11
B ₂ T = 3,2 m	1500	2244	1840	16,2	18,93
A ₂ T = 2,5 m	1000	2331	1700	14,8	23,90
A ₂ T = 2,5 m	1500	2331	1700	16,3	17,60
A ₂ T = 3,2 m	1500	3049	2420	14,7	22,60
A ₂ * T = 3,2 m	1500	—	2770	14,2	24,90

P_{Se} = 1,05 P_D; B₁, A₂ und A₂* aus [3]

- B₁ = Einschrauber, L = 85,0 m x B = 9,5 m, Keilspantvorschiff
- B₂ = Zweischauber, L = 85,0 m x B = 9,5 m, Keilspantvorschiff
- A₂ = Zweischauber, L = 95,0 m x B = 11,4 m, Pontonvorschiff
- A₂* = Zweischauber, L = 110,0 m x B = 11,4 m, Pontonvorschiff

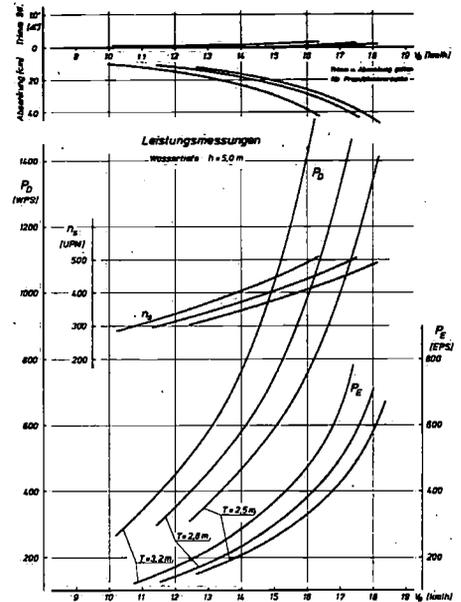


Abb. 2

$$\text{Propulsionsgütegrad } \eta_D = \frac{P_E}{P_D}$$

$$\text{Effektiver Nachstrom über Schubidentität } w_T = 1 - \frac{V_{a,m}}{V_s}$$

$$\text{Sogziffer } t = 1 - \frac{R_T}{T}$$

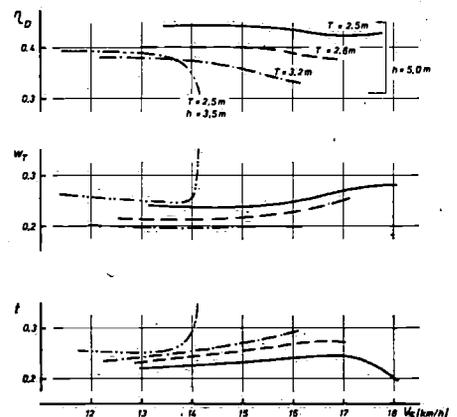


Abb. 3

Geschwindigkeitsverteilung bezogen auf Schiffsgeschwindigkeit $V_{a,m}/V_s$

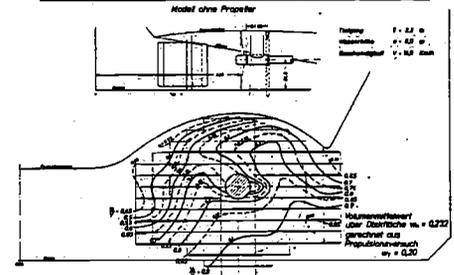


Abb. 4

4.2 Nachstrommessungen

Die Verteilung der mittels Schiffsgeschwindigkeit V dimensionslos gemachten axialen Zuströmgeschwindigkeiten V_A bzw. des nominellen Nachstroms für den Zustand „Modell ohne Propeller“ wird in Abb. 4 (hier nur für h = 5,0 m

Anströmgeschwindigkeiten

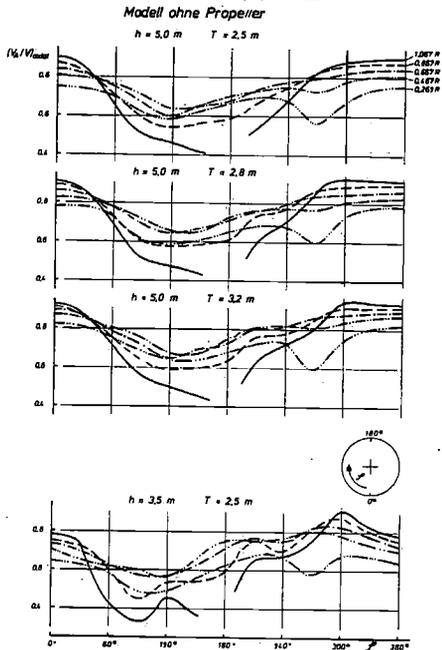


Abb. 5

und $T = 3,2$ m) wiedergegeben. Die Isotachen oder Linien gleicher Geschwindigkeiten lassen gute Wasserzuführung zum Propeller erkennen. Der Verlauf der Isotachen, besonders in den beiden oberen Quadranten der Propellerkreisfläche, wird im wesentlichen vom Reibungsnachstrom bestimmt und ähnelt der Spantcharakteristik der Tunnelspanten. Die festzustellende Störung im Verlauf der Isotachen wird hauptsächlich von den Wellenböcken verursacht.

Die Tunnelwirkung hinsichtlich der Wasserzuführung zum Propeller verstärkt sich bei größeren Tiefgängen. Dies ist deutlich an dem Volumenmittelwert der Nachstromziffer in Abb. 11, der mit zunehmendem Tiefgang geringer wird, zu erkennen.

Abb. 5 zeigt die dimensionslos gemachten axialen Anströmgeschwindigkeiten auf verschiedenen Radien, während die in der Zeichenebene umgeklappten Geschwindigkeitsprofile in Abb. 6 dargestellt sind.

Das Nachstromfeld bei arbeitendem Propeller sowie die Veränderungen der örtlichen Geschwindigkeiten durch den Propeller sind wiederum aus Platzgründen nur für $h = 5,0$ m und $T = 3,2$ m in den Abbildungen 7 und 8 wiedergegeben.

Der arbeitende Propeller saugt überwiegend aus dem Tunnelbereich an. Der Verlauf der Isotachen in diesem Fall

Axiale Zuströmungsgeschwindigkeitsprofile in der Zeichenebene umgeklappt

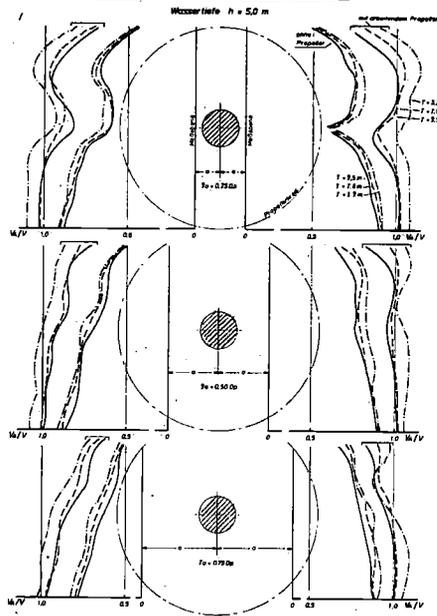


Abb. 6

Geschwindigkeitsverteilung bezogen auf Schiffsgeschwindigkeit V_{mp}/V_0

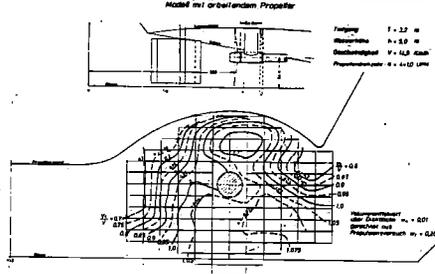


Abb. 7

Geschwindigkeitsänderung durch den arbeitenden Propeller V_{mp}/V_0

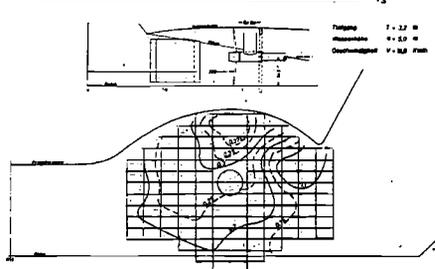


Abb. 8

Horizontal-Anströmgeschwindigkeiten und Richtungen in die Zeichenebene umgeklappt

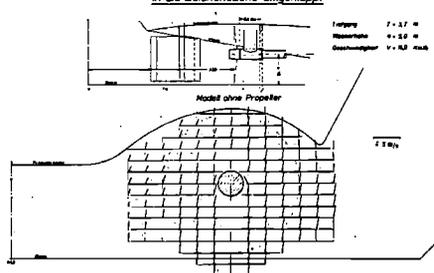


Abb. 9

sowie die Geschwindigkeitsänderungen durch den arbeitenden Propeller sind radial über dem Propellerkreis relativ gleichmäßig verteilt. Die Linien gleicher Geschwindigkeit bei arbeitendem Propeller haben gegenüber denen von Messungen ohne Propeller den Unterschied, daß diese oberhalb der Propellerwelle ringförmig in sich geschlossen sind. Die kegelartige Geschwindigkeitsspitze befindet sich zwischen den beiden Armen des Wellenbocks und ist vermutlich auf deren Störwirkung zurückzuführen.

Die Veränderung der örtlichen Geschwindigkeiten infolge des arbeitenden Propellers ist in Abb. 8 in Isotachenform dargestellt. Sie wird auch aus der Auftragung der Geschwindigkeitsprofile in verschiedenen senkrechten Schnitten der Meßebe in Abb. 6 ersichtlich. Diese Auftragung verdeutlicht, daß die vom Propeller geleistete Beschleunigungsarbeit in der jeweiligen vertikalen Ebene nahezu gleichmäßig verteilt ist. Es ist weiterhin zu erkennen, daß die Geschwindigkeitsprofile nach oben hin nur geringfügig kleiner werden. Die Gradienten dieser Profile sind zwar auf der Tunnelinnenseite schräger als auf der Außenseite, aber der Geschwindigkeitsabfall in den oberen Wasserlinien ist keineswegs so stark, wie dies bei Einschraubern festgestellt wurde. Beide Fälle weisen kaum eine Beeinflussung durch den zunehmenden Tiefgang auf.

Der Volumenmittelwert der Geschwindigkeitsänderung infolge des arbeitenden Propellers V_{mp}/V_0 beträgt 19 % bzw. 23 % der Schiffsgeschwindigkeit. Der kleine Wert gilt für $h = 5,0$ m und $T = 2,5$ und 2,8 m, während der höhere Wert den beiden übrigen h/T -Verhältnissen von 5,0/3,2 und 3,5/2,5, zuzuordnen ist. Die vergleichbaren Werte bei Einschraubern liegen zwischen 30 % und 60 %. Demnach ist die Geschwindigkeitserhöhung durch den Propeller beim Zweischrauber nicht nur wesentlich geringer, sondern auch ihre Zunahme auf flachwerdendem Wasser ist kleiner.

Die Abbildungen 9 und 10 geben die in die Zeichenebene geklappten Geschwindigkeitsvektoren nach Größe und Richtung in den jeweiligen Meßpunkten wieder. Die von vorne schräg nach innen gerichtete Zuströmung hat in den oberen Wasserlinien etwa die gleiche Konvergenz wie die Neigung des Tunnels. Die Tunnelwirkung bezüglich der Wasserzuführung ist auf allen

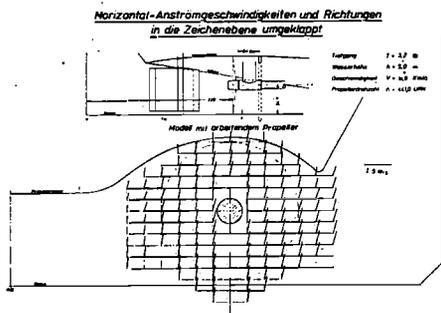


Abb. 10

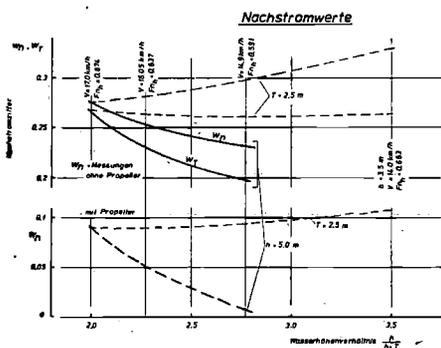


Abb. 11

untersuchten Wassertiefen-Tiefgangsverhältnissen gleich gut. Auch der arbeitende Propeller ändert die Zuströmrichtung kaum.

Der Vergleich des hier aufgemessenen nominellen Nachstroms w_n mit dem über Schubidentität ermittelten w_T in Abb. 11 zeigt, daß die erstgenannten Werte höher liegen. Mit zunehmendem Tiefgang bzw. bei gleichem Tiefgang und geringerer Wassertiefe wird die Abweichung zwischen beiden Werten größer. Während dieses Resultat den bisherigen Feststellungen mit Einschraubern [1, 5, 6 und 9] entspricht, weist der Verlauf der Nachstromwerte über dem Wasserhöhenverhältnis eine entgegengesetzte Tendenz auf. Die Nachstromziffer nimmt bei größerem Tiefgang ab. Das abweichende Verhalten im vorliegenden Fall ist z. T. durch die Tunnelwirkung zu erklären, die infolge der geringeren Bodenfreiheit und der dadurch bedingten Übergeschwindigkeiten im Bodenbereich stärker zur Geltung kommt.

Die relativ hohe Sogziffer ist, wie im vorgehenden Abschnitt 4.1 bereits erwähnt, teilweise auf den kleineren Propellerdurchmesser zurückzuführen. Sie wird jedoch mit wachsendem Tiefgang größer, obwohl der abnehmende Nachstrom den Arbeitspunkt des Propellers verändert, wobei die Veränderung einer Verringerung der Schubbelastung gleichkommt. Eine mögliche Erklärung

hierfür ist durch getrennte Betrachtung der beiden Anteile der Sogziffer zu finden. Der Zusammenhang zwischen Potentialvog, Reibungsvog und dem Nachstrom ist in [8] eingehender untersucht worden. Es ergibt sich auf der einen Seite, daß der Potentialvog zwar bei allen Schubbelastungen $c_{Th} > 0$ kleiner ist als die effektive Nachstromziffer, er nähert sich aber bei abnehmender Schubbelastung dem Nachstromwert an. Für den Grenzfall $c_{Th} \rightarrow 0$ sind die beiden Werte gleich.

Auf der anderen Seite verhält sich der Reibungsvog derart, daß er bei großen Nachstromziffern klein ist und erst bei kleinerem Nachstrom etwa hyperbolisch anwächst. Das Verhältnis von Reibungsvog zu Potentialvog ist allgemein nur klein, nimmt aber bei sogenannten Körpern beträchtliche Größe an; im Extremfall der längsangeströmten Platte ist der ganze Sog reiner Reibungsvog. Im vorliegenden Fall dürfte der Reibungsvog einen nicht mehr zu vernachlässigenden Teil des Gesamtsogs ausmachen.

5. Zusammenfassung

Die bereits in [1] und [2] durchgeführte Arbeit, deren Ziel die Ermittlung der Nachstromverhältnisse an den wichtigsten Binnenschiffstypen ist, wird in der vorliegenden Untersuchung fortgesetzt. Es wird modellmäßig an einem 2-Schrauben-Gütermotorschiff das Nachstromfeld bei verschiedenen Wassertiefen/Tiefgangsverhältnissen sowie seine Veränderung durch den arbeitenden Propeller untersucht.

Propulsionsmäßig zeigt es sich, daß bei geringeren installierten Leistungen und Beladungen der vergleichbare Einschrauber einen höheren Transportgütegrad besitzt. Der ungünstige Leistungsbedarf des Zweischraubers ist vor allem auf die geringe Nachstrom- und höhere Sogziffer zurückzuführen. Beide zusammen ergeben einen sehr ungünstigen Schiffseinflußgrad.

Die Verteilung des Nachstroms zeigt eine gute Formgebung des Tunnelbereichs, die eine relativ gleichmäßige Wasserzuführung zum Propeller gewährleistet. Die unmittelbar vor dem Propeller angeordneten Wellenböcke verursachen kleine Störungen im Verlauf der Zuströmung. Diese können jedoch durch Veränderung der Wellenbockanordnung leicht behoben werden. Die Tunnelwirkung hinsichtlich der Wasserzuführung verstärkt sich bei zu-

nehmendem Tiefgang; die mittlere Nachstromziffer wird entsprechend geringer.

Der arbeitende Propeller leistet eine über seinen Umfang nahezu gleichmäßig verteilte Beschleunigungsarbeit. Der Mittelwert der Geschwindigkeitserhöhung als Maß für den Impuls ist allerdings wesentlich geringer als der vergleichbare Wert bei Einschraubern.

Die gemessenen horizontalen Zuströmungsrichtungen geben Hinweise auf die festzulegende Nulllage der eventuell anzuordnenden Flankenruder.

Literaturverzeichnis

- [1] Schmidt-Stiebitz, H.; Luthra, G. Untersuchung der Geschwindigkeitsverteilung im Propellerbereich an einem mittels Ruderpropeller angetriebenen und gesteuerten Flachwasserschiff. Schiffstechnik, Bd. 18, Heft 91/1971
- [2] Luthra, G. Untersuchung der Nachstromverteilung eines im Verband schiebenden Schubboots in Pontonform. Hansa, 111. Jahrgang, Nr. 18/1974
- [3] Heuser, H. Zusammenfassung und abschließende Beurteilung der Modellversuche zur Entwicklung der Formgebung des Europagütermotorschiffes. VBD-Bericht Nr. 662
- [4] Schmidt-Stiebitz, H. Beeinflussung des Nachstromfeldes durch den Propeller. Schiff und Hafen, Heft 9/1966
- [5] Pohl, K. H. Untersuchung über nominellen und effektiven Nachstrom in der Propellerebene von Einschraubenschiffen. Schiffstechnik, Band 10/1963, Heft 50
- [6] Brehme, H. Ein Beitrag zu den Eigenschaften eines Schiffspropellers im inhomogenen Feld. Schiff und Hafen, Heft 8/1965
- [7] Schmidt-Stiebitz, H.; Luthra, G.; Thiel, J. Nachstromuntersuchungen im inhomogenen Propellerfeld. Schiff und Hafen, Heft 5/1970
- [8] Hucho, H.-W. Über den Zusammenhang zwischen Normalvog, Reibungsvog und dem Nachstrom bei der Strömung um Rotationskörper. Schiff und Hafen, Heft 10/1968
- [9] Luthra, G. Modellmäßige Untersuchung der Drehzahlabnahme eines Schiffspropellers im Laufe der Betriebszeit bei konstant gehaltener Antriebsleistung. Schiff und Hafen, Heft 9/1975