

Untersuchung widerstandsgünstiger Bugformen für Seeschiffe sehr großer Völligkeit

Dipl.-Ing. G. Luthra

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

1. Einleitung

Unter dem gleichen Thema ist in „Schiff & Hafen“, Heft 11/71, [1] über die Versuche zur Verringerung des Widerstands eines völligen Seeschiffsmodells durch Bugformänderung berichtet worden. Die Untersuchung umfaßte vergleichende Widerstands- und Leistungsmessungen mit zwei aus den bisherigen Entwicklungen in der VBD herrührenden ellipsoidförmigen Bugausführungen, von denen die eine rundelliptische Spanten aufwies, während die andere in Knickspanten einfacher Bauart ausgeführt worden war. Als Ausgangsvariante diente ein Modell der BSRA-Serie mit Völligkeit $C_B = 0,85$ [2 und 3], dessen Hinterschiff bei allen Bugvarianten unverändert beibehalten wurde.

Wesentliches Ergebnis dieser Untersuchung ist die deutliche Überlegenheit des Ellipsoidbugs gegenüber dem Grundmodell. Die günstigen Eigenschaften der Ellipsoidform sind auf die bessere Umströmung des Modells, insbesondere aber auf die Verminderung der Wellenbildung im Bereich der vorderen Schulter zurückzuführen.

Nachdem in der vorangegangenen Arbeit die partiell vorgenommene Vereinfachung der Ellipsoidform, bei der die rundelliptischen

Spanten des Unterwasserbugs durch Knickspanten ersetzt wurden, keinerlei Nachteile hinsichtlich der Umströmung erbrachte, ist das vorliegende Versuchsprogramm in zweierlei Richtungen erweitert worden:

Erstens ist die vorhandene Knickspant-Variante zusammen mit einem elliptischen Bugwulst untersucht worden. Der Anbau des Wulstes an diese Vorschiffsform mit relativ großen Eintrittswinkeln der Wasserlinien läßt eine günstige Beeinflussung der Bugstauwelle erwarten und dürfte darüber hinaus zum besseren Verhalten des Schiffes im Seegang beitragen.

Zweitens sind, um dem Nachteil der relativ aufwendigen Bauart des Ellipsoidbugs — der jedoch billiger ist als eine Ausführung mit Wulst — entgegenzuwirken, zwei weitere, stark vereinfachte Vorschiffslinien entwickelt und in Vergleichsversuchen geprüft worden.

Die vorliegende Arbeit schließt außerdem Widerstands- und Leistungsmessungen mit zwei Modellen der Völligkeit $C_B = 0,75$ ein. Es handelt sich dabei um ein Grundmodell der Göteborg-Serie [4 und 5] und ein Vergleichsmodell mit ellipsoidförmigem Bug. Die Untersuchungen mit diesen beiden Modellen dienten dem Zweck, zu prüfen, ob das Ellipsoidvorschiff auch bei geringeren Völligkeiten noch nennenswerte Vorteile gegenüber der Normalform bietet.

Wie bei den vorausgegangenen Versuchen sind die Mittel für die hier beschriebene Fortsetzung dankenswerterweise wieder von der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung gestellt worden.

2. Übersicht über die Versuche

Tank		9,8 m breiter und 190 m langer Versuchstank der VBD			
Wasserhöhe	h	M 666/...		M 613/...	
		$\delta = 0,85$		$\delta = 0,75$	
		Wasserhöhenverhältnis $h/h-T$ bei			
		T_1	T_3	T_1	T_2
1,0 m entspr. 25,0 m in Natur		1,36	1,20	1,395	1,304
0,566 m entspr. 14,15 m in Natur		—	—	2,000	1,700
0,533 m entspr. 13,33 m in Natur		2,00	1,45	—	—
Die Versuche wurden in stehendem Wasser durchgeführt					
Modelle	$\lambda = 25$	M 666 - 0 Ausgangsform nach Unterlagen der BSRA			
		$\delta = 0,85$			
		M 666 - 731	Ellipsoidbug in Knickspanten		
		M 666 - 731 b	Ellipsoidbug mit ellipt. Bugwulst		
		M 666 - 812	} Vereinfachte Leichterbug-Varianten in Knickspanten		
		M 666 - 836			
		$\delta = 0,75$			
		M 613 - 0	Ausgangsform nach Unterlagen der SSPA		
		M 613 - 803	Ellipsoidbug in Knickspanten (s. Datentabellen und Abb. 1 bis 5)		
Anhänge	Profiltruder, Ruderhacke				
Turbulenz-erzeuger	15 mm breite Sandstreifen bei Spant 17 und 19 (20-Spt.-Teilung)				
Propeller	P 139 r bzw. P 130 r (s. Datentabellen)				
Widerstandsmessungen elektrisch mittels Ringdynamometer mit homogenen Scharnieren und mechanischem Dämpfungsglied.					
Leistungsmessungen elektrisch mit Kempf- und Remmers-Gerät.					
Trimm und Absenkung mechanisch.					

2.1 Daten-Modelle der Völligkeit 0,85

Modell-Nr.	M 666-0			M 666-731		M 666-731 b		M 666-812		M 666-836	
	Grundform ohne Bugwulst			Ellipsoidbug in Knickspanten ohne Bugwulst		Knickspanten mit Bugwulst		Leichterbugvarianten			
	I (100 %)	II (80 %)	III (60 %)	I (100 %)	III (60 %)	I (100 %)	III (60 %)	I (100 %)	III (60 %)	I (100 %)	III (60 %)
Länge zwischen den Loten	L _{pp}	[m]	4,800		4,800		4,800		4,800		4,800
Breite auf Spant	B _{a.Spt.}	[m]	0,698		0,698		0,698		0,698		0,698
Tiefgang	T	[m]	0,2665	0,2155	0,1655	0,2665	0,1655	0,2665	0,1655	0,2665	0,1655
Verdrängung auf Spant (entsprechend)	V _{a.Spt.}	[dm ³]	758,6	605,7	456,4	750,4	457,0	753,3	460,0	759,9	453,0
benetzte Oberfläche	S	[dm ²]	515,2	463,5	412,3	509,4	407,4	521,1	425,7	515,0	409,9
Völligkeitsgrad	δ _{pp}	-	0,850	0,839	0,818	0,841	0,819	0,844	0,830	0,851	0,817
	δ _{wl}	-	0,830	0,834	0,843	0,821	0,838	0,824	0,849	0,831	0,847
Länge in der WL	L _{wl}	[m]	4,914	4,827	4,696	4,914	4,691	4,914	4,691	4,914	4,6284
Verdrängungs-Schwerpunkt	LCB	% von L vor L/2	1,840	2,163	2,168	1,450	-	-	-	2,492	2,486
Verhältniszert	B/T	-	2,620	3,240	4,220	2,620	4,220	2,620	4,220	2,620	4,220
Verhältniszert	10 ³ V/L ³ _{pp}	-	6,860	-	4,130	6,790	4,130	6,810	4,160	6,870	4,100
Verhältniszert	L/B	-		6,880		6,880		6,880		6,880	

* hinter L/2

10,992
0,823
0,827

Ruder-Nr.			R 344
Fläche	A _R	[dm ²]	1,183
Seitenverhältnis	c/h	-	0,530
Streckung	h ² /A _R	-	1,833
Dickenverhältnis	t/c	-	0,1122

Propeller-Nr.			P 139 r Wageningen B 4.55
Durchmesser	D	[m]	0,175
Steigungsverhältnis	P/D	-	0,700
Blattlänge	c _{0,7R}	[m]	0,0515

2.2 Daten-Modelle der Völligkeit 0,75

Modell-Nr.	M 613-0		M 613-803		
	Grundform		Ellipsoidbug in Knickspanten		
	I (100 %)	II (80 %)	I (100 %)	II (80 %)	
Länge zw. d. Loten	L _{pp}	[m]	4,800		4,800
Breite auf Spant	B _{a.Spt.}	[m]	0,680		0,680
Tiefgang	T	[m]	0,283	0,233	0,283
Verdrängung a. Spant (entsprechend)	V _{a.Spt.}	[dm ³]	691,8	556,2	700,8
benetzte Oberfläche	S	[dm ²]	475,0	422,6	478,4
Völligkeitsgrad	δ _{pp}	-	0,749	0,731	0,758
	δ _{wl}	-	0,731	0,739	0,740
Länge in der WL	L _{wl}	[m]	4,920	4,748	4,920
Verhältniszert	B/T	-	2,400	2,920	2,400
Verhältniszert	10 ³ V/L ³ _{pp}	-	6,260	5,030	6,340
Verhältniszert	L/B	-		7,06	

Ruder-Nr.			R 301
Fläche	A _R	[dm ²]	2,251
Seitenverhältnis	c/h	-	0,557
Streckung	h ² /A _R	-	1,800
Dickenverhältnis	t/c	-	0,1786

Propeller-Nr.			P 130 r Wageningen B 4.55
Durchmesser	D	[m]	0,180
Steigungsverhältnis	P/D	-	1,000
Blattlänge	c _{0,7R}	[m]	0,053

3. Versuchsvarianten

3.1 Modelle der Völligkeit 0,85

Für das im Maßstab 1:25 vorhandene Modell des Ellipsoidschiffes in Knickspanten wurde entsprechend der Aufgabenstellung ein Bugwulst entworfen, dessen Spanten ebenfalls elliptische Charakteristik aufweisen. Der Verlauf der Wulst-Wasserlinien hinter Spant 20 (FP) ist gradlinig, bis sie an die Rumpf-Wasserlinien anstoßen. Die Knick-Kante an der Stoßstelle des parallelen Wulsteils liegt weitgehend in Stromfadenrichtung. Dem Entwurf hat die Aufgabenstellung zugrunde gelegen, nicht nur die Wulstform einfach zu halten, sondern auch seine bauliche Anpassung am Schiffsrumpf mit einem minimalen Aufwand an Baukosten zu erreichen.

Spantenriß sowie die Vorschiffslinien des Modells M 771 mit elliptischem Wulst sind in Abb 2 dargestellt, während Abb. 1 den Liniensriß des Grundmodells zusammen mit dem dort untersuchten Bugwulst zeigt.

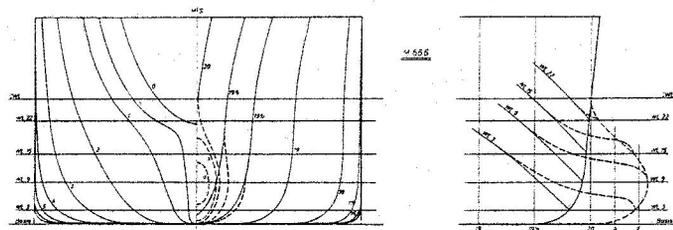


Abb. 1: Spantenriß und Vorschiffsform, $C_B = 0,85$
M 666 Grundform (nach BsRA-Serie 2)
M 666a Grundform mit Bugwulst

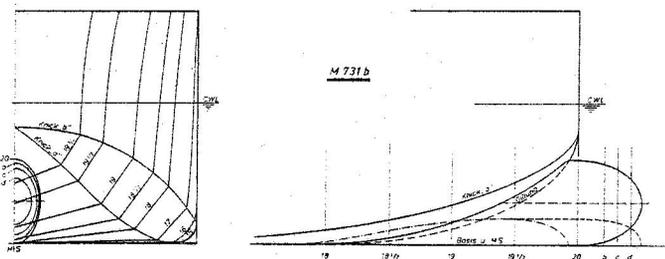


Abb. 2: Spantenriß und Vorschiffsform, $C_B = 0,85$
M 731 Ellipsoidbug in Knickspanten
M 731b mit ellipt. Bugwulst

Die Hauptabmessungen und die Hauptformparameter sind in Tabelle 2.1 mit denen der zwei weiteren Vorschiffsvarianten zusammengefaßt.

Um sich der begonnenen Systematik anzupassen, ist der Maßstab auch für die beiden weiteren Varianten, die nur als Bugteilmodelle angefertigt wurden, einheitlich mit $\lambda = 25$ gehalten worden. Damit beträgt die auf das Standard-Schiff der BSRA-Serie bezogene Modelllänge 4,914 m. Für den untersuchten Geschwindigkeitsbereich von $Fn = 0,15$ bis $0,20$ ergeben sich Reynolds-Zahlen, die zwischen $Rn = 4,5$ und $6,5 \times 10^6$ liegen.

Im Hinblick auf die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse ist die Modelllänge noch klein [7]. Für die Vergleichsversuche, bei denen die relativen Widerstands- und Leistungsunterschiede ermittelt werden, ist jedoch die Beeinflussung durch den Maßstabeffekt annähernd gleichbleibend anzunehmen. Wegen der Wahl der Größe von Modellen in den vorangegangenen Untersuchungen wird auf die Ausführungen in [3] hingewiesen.

Die bisher durchgeführte und in [1] beschriebene Arbeit bestand darin, Bugausführungen zu untersuchen, die aufgrund der besseren Umströmung eine Verminderung der vom fahrenden Schiff aufgeworfenen Bugwellen bewirken, um so eine Verringerung des Widerstandes zu erreichen. Die Weiterführung des Versuchsprogramms befaßt sich vor allem mit der Aufgabe, relativ einfache Vorschiffslinien auf der Basis der Leichterbugformen zu entwickeln, die unter Beibehaltung günstiger hydrodynamischer Eigenschaften zu niedrigen Baukosten führen.

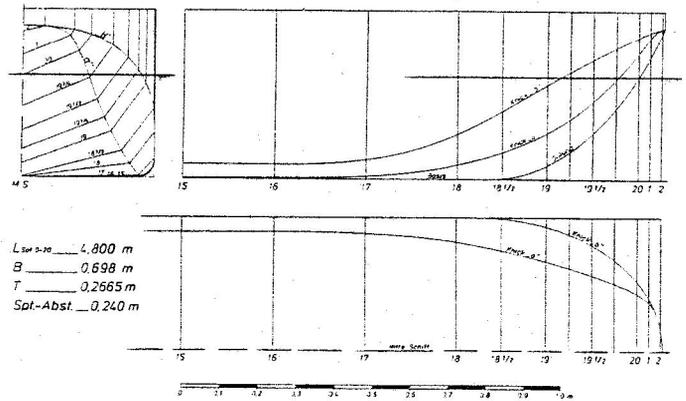


Abb. 3: Spantenriß und Vorschiffsform M 812, $C_B = 0,85$

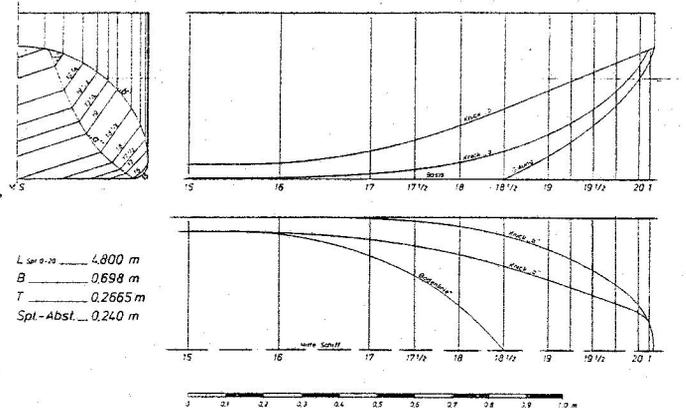


Abb. 4: Spantenriß und Vorschiffsform, $C_B = 0,85$

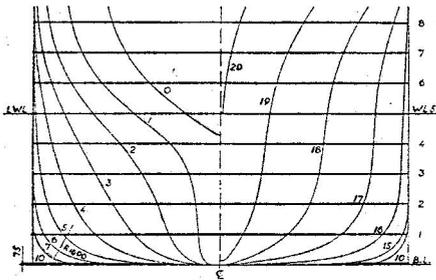
Die Vorschiffslinien der beiden Leichterbug-Varianten M 812 und M 836 sind in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt worden. Der Unterschied zwischen diesen beiden Formen besteht einmal darin, daß bei M 812 der obere Knick und die darüberliegenden Wasserlinien, ähnlich wie ein Zylinderbug mit einem großen Radius, ausgeführt sind, während sie bei M 836 einen elliptischen Verlauf aufweisen. Zum anderen unterscheidet sich der Übergang vom Bug zum parallelen Mittelschiff im Bodenbereich. Für M 812 ist der Übergang so gestaltet worden, daß ein Bodenknicke, der mitunter die Kimmumströmung beeinflusst, vermieden wurde. Diese Ausführung ergibt eine Auffächerung der unteren Teilschiffen. Dagegen sind bei M 836 die Spanten durch entsprechende Verschiebung der Spantfußpunkte parallel gehalten worden. Eine wesentliche Änderung der Spantflächenverteilung wurde nicht vorgenommen.

3.2 Modelle der Völligkeit 0,75

Als Ausgangsvariante diente das vorhandene Modell M 613 der früheren Untersuchung [5]. Dabei handelt es sich um ein 4,92 m langes Modell ($\lambda = 25$) der SSPA-Serie [4] mit einer Völligkeit von $C_B = 0,75$. Unter Beibehaltung der Hauptabmessungen und Verhältniszahlen wurde für dieses Modell ein Ellipsoidvorschiff entworfen und durch Abänderung der rundelliptischen Spanten eine äquivalente-Knickspant-Konstruktion entwickelt, wie sie für die Völligkeit $C_B = 0,85$ in [1] untersucht worden war. Um die Untersuchung auf eine Variante zu beschränken, wurde für die Versuche die Knickspant-Konstruktion gewählt und als Bugteilmodell hergestellt. Für die rundelliptische Spantform läßt sich eine noch günstigere Umströmung und damit wahrscheinlich eine Verbesserung der für die Knickspant-Variante ermittelten Ergebnisse als gegeben annehmen.

Das Hinterschiff des Ausgangsmodells wurde unverändert beibehalten. Die Hauptmodellaten und Formparameter der beiden untersuchten Vorschiffstypen sind unter 2.2 in Tabellensform zusammengestellt. Spantenriß des Ausgangsmodells und des Ellipsoidvorschiffs in beiden Entwurfsausführungen zeigt Abb. 5.

Modell M513 Grundform
(nach SSPA-Bericht 44)



Modell M803 Ellipsoidbug in Knickspn.

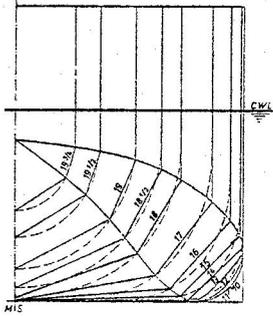
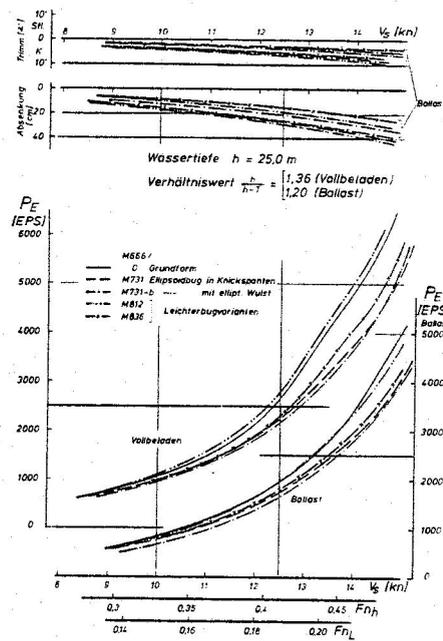


Abb. 5: Spantenr/B
 $C_B = 0,75$

Abb. 6: Widerstands-
messungen



4. Versuchsdurchführung

Die Widerstandsversuche wurden mit den unter 3.1 und 3.2 beschriebenen Modellen bei Konstruktionstiefgang entsprechend dem beladenen Zustand und bei 60% bzw. 80% des Konstruktionstiefgangs entsprechend dem mittleren Ballastzustand jeweils auf zwei Wasserhöhen durchgeführt. Die Versuche erfolgten im großen Tank der VBD.

Gemessen wurden Schleppwiderstand, Trimm und Absenkung. Für das Wellenbild wurden an der Meßstrecke vom Tankrand aus Seitenaufnahmen gemacht.

Leistungsmessungen erfolgten mit allen Versuchsvarianten auf zwei Wasserhöhen bei einem Tiefgang (Konstruktionstiefgang). Der Reibungsabzug wurde nach der ITTC-Reibungslinie entsprechend dem Maßstab $\lambda = 25$ bestimmt. Der erfaßte Geschwindigkeitsbereich beträgt $F_n = 0,14$ bis $0,20$ für $C_B = 0,85$ und $F_n = 0,15$ bis $0,23$ für $C_B = 0,75$. Es wurden für die zwei Völligkeiten zwei verschiedene Propeller verwendet, deren Kenngrößen unter Modell-daten angegeben sind.

Eine Übersicht über die Versuche ist der Tabelle 2. zu entnehmen.

5. Versuchsergebnisse

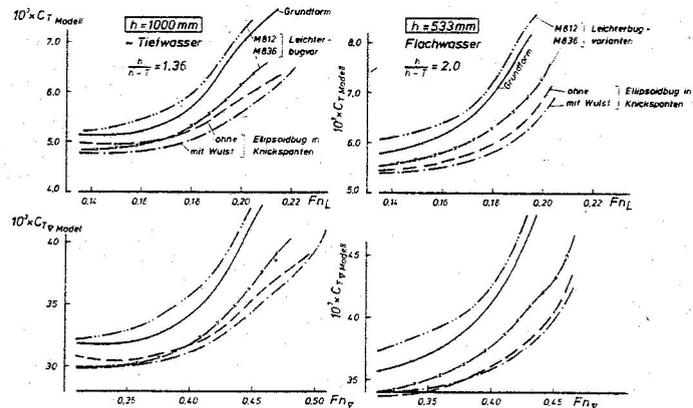
5.1 Widerstandsmessungen — $C_B = 0,85$

Die Ergebnisse der Widerstandsversuche mit den Vorschiffsvarianten der Völligkeit $C_B = 0,85$ sind (hier nur auf einer Wassertiefe) in Abb. 6 wiedergegeben. Die Umrechnung der Meßergebnisse auf die Großausführung ist mit Hilfe der ITTC 57-Korrelationslinie ohne weitere Korrekturen vorgenommen worden.

In Abb. 7 sind die Gesamtwiderstandsbeiwerte C_T -Modell der verschiedenen Varianten bei Konstruktionstiefgang über der Froude-Zahl F_{nL} aufgetragen. In der gleichen Abbildung werden unten die Gesamtwiderstandsbeiwerte in der Form $C_T \nabla_{\text{Modell}}$ über der auf die Verdrängung bezogenen Froude-Zahl $F_n \nabla$ dargestellt. Diese Darstellungsweise wurde gewählt, damit bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse die kleinen Abweichungen in den Verdrängungen der Vergleichsvarianten Berücksichtigung finden.

Wie aus Abb. 7 zu ersehen ist, liegen alle untersuchten Entwurfsvarianten mit Ausnahme des Leichterbugs M 812 günstiger als das Grundmodell mit konventioneller Vorschiffsform. Der Leichterbug M 812 weist etwa 4 bis 5% höheren Widerstand auf. Dahingegen ist das zweite Leichtervorschiff M 836 nicht nur besser als die Grundform, sondern es verhält sich im unteren Geschwindigkeitsbereich bis zur Auslegungsfroude-Zahl von $F_{nL} = 0,165 - 0,17$

Abb. 7: Modellwiderstandsbeiwerte vollbeladen



sogar günstiger als der Ellipsoidbug. Erst bei höherer Geschwindigkeit erweist sich der Ellipsoidbug am günstigsten. Das Anbringen des Bugwulstes am Ellipsoidvorschiff bringt, ähnlich wie auch bei den bisher üblichen Formen, zusätzlich eine Widerstandsverringern, die im Ballast größer ist als im vollbeladenen Zustand. Die Wirkung des Bugwulstes ist geringer auf flachem als auf tiefem Wasser.

Die auf die Grundform bezogenen Leistungswerte der vier Vergleichsvarianten sind in den Abb. 8 und 9 für zwei Wassertiefen und zwei Tiefgänge aufgetragen. Der Vergleich läßt zahlenmäßige Überlegenheit der drei Varianten gegenüber dem Grundmodell erkennen und zeigt, daß der im Vollastzustand festgestellte 4 bis 5%ige höhere Widerstand für Leichterbug M 812 sich im Ballastzustand nicht wiederholt. Auf Ballasttiefgang sind demnach praktisch alle untersuchten Entwurfsvarianten günstiger als die konventionelle Grundform.

Besondere Beachtung verdient die Leichterbugvariante M 836, die trotz der stark vereinfachten Form ebenso günstige Widerstandseigenschaften aufweist wie das Ellipsoidvorschiff.

5.2 Leistungsmessungen — $C_B = 0,85$

Die aus den Propulsionsversuchen ermittelten und auf die Großausführung umgerechneten Wellenleistungen aller Versuchsvarianten sind mit den dazugehörigen Drehzahlwerten über Geschwindigkeit in Abb. 10 (nur eine Wassertiefe) dargestellt. Auch hier zeigen sich ähnliche Verhältnisse wie bei den Widerstandsversuchen. Der Leistungsbedarf der drei günstigeren Varianten beträgt für die Auslegungsgeschwindigkeit und auf großer Wasser-

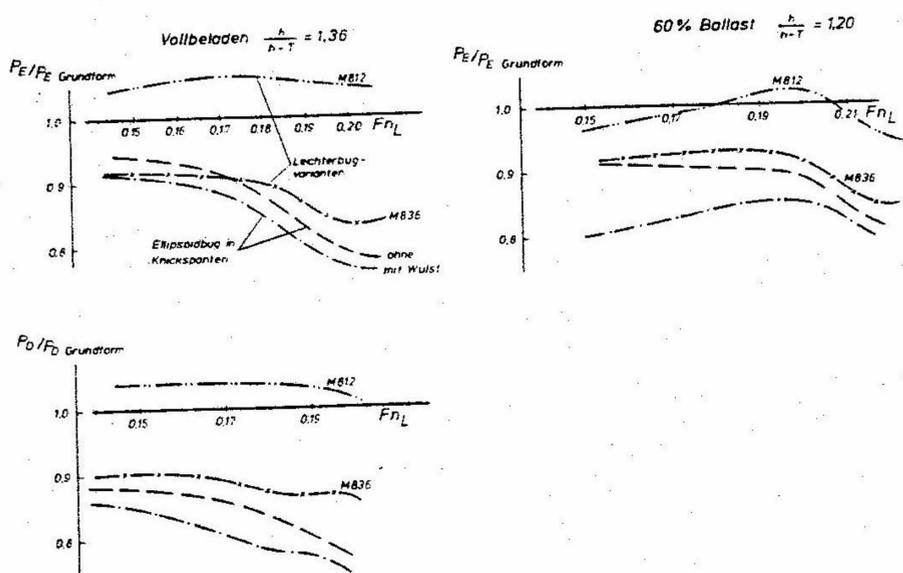


Abb. 8: Leistungen bezogen auf die Grundformwerte Wassertiefe $h = 25,0$ m

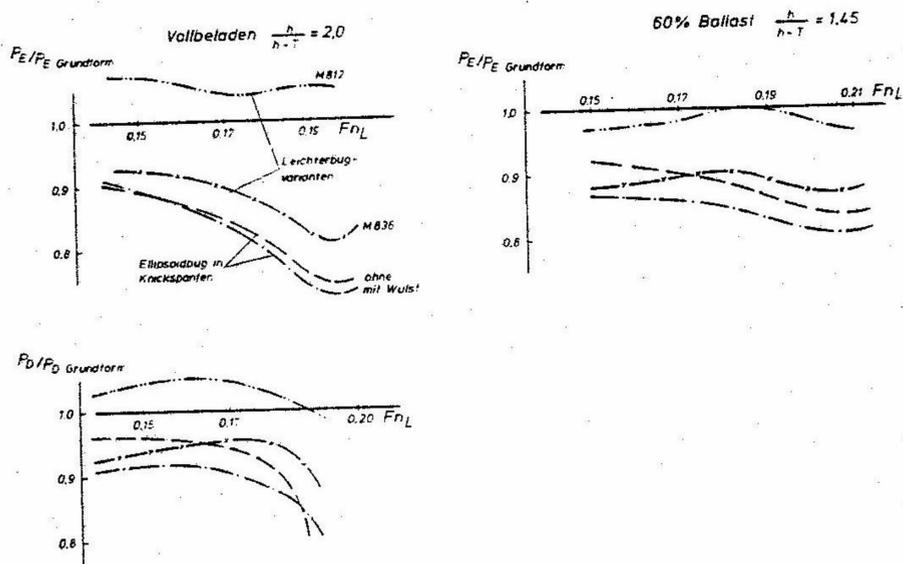


Abb. 9: Leistungen bezogen auf die Grundformwerte Wassertiefe $h = 13,33$ m

tiefe zwischen 80 und 90% von dem der Grundform (Abb. 8 unten). Auf flacherem Wasser (Abb. 9) ist die Leistungseinsparung geringer. In beiden Fällen ist die Leichterbugform M 836 dem Ellipsoidvorschiff etwa gleichwertig. Der Anbau eines Bugwulstes bringt einen weiteren Gewinn von 4 bis 6 %.

Auch wenn keine zahlenmäßigen Angaben über den Leistungsbedarf auf unbeschränkt tiefem Wasser gemacht werden können, so ist doch aufgrund seines zunehmenden Verlaufs zu großen Wassertiefen hin anzunehmen, daß er zumindest die hier auf $h = 25,0$ Meter festgestellten Werte nicht unterschreitet.

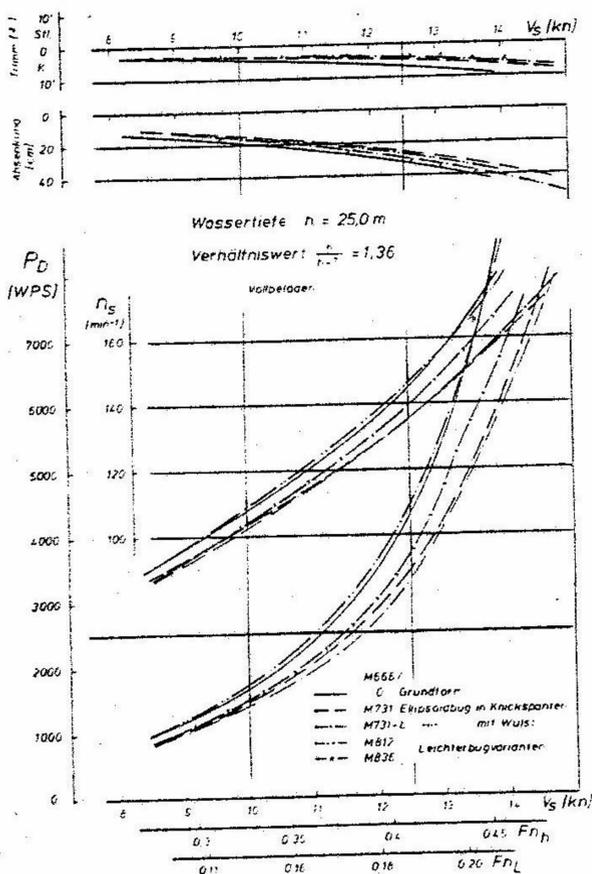
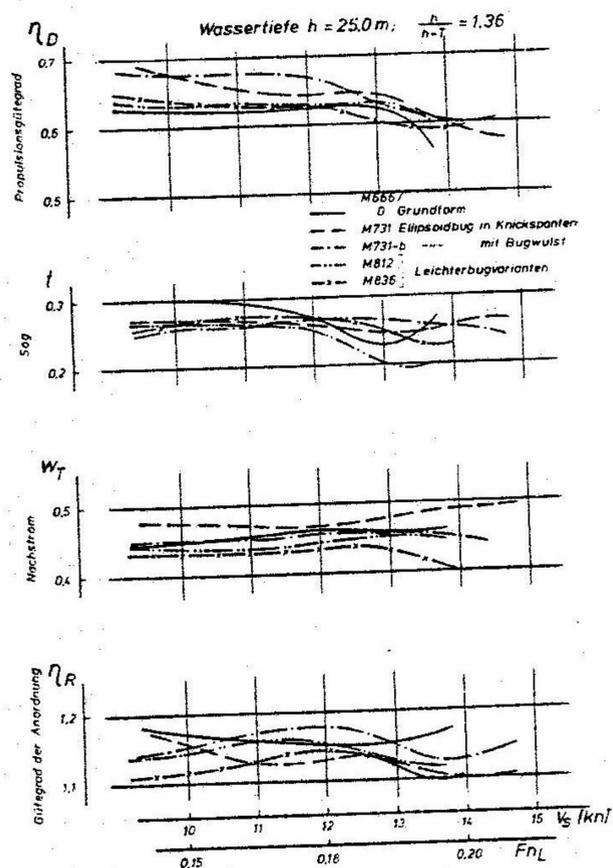


Abb. 10: Leistungsmessungen $C_B = 0,85$

Foto - Tab. I:
Seitenaufnahmen des Wellenbildes am Vorschiff - $C_B = 0,85$
Widerstandsversuch - Konstruktionstiefgang Wassertiefe $h = 1,0$ m; Geschwindigkeit $V_M = 1,35$ m/s

Abb. 11: Propulsionsgütegrad, Sog, Nachstrom und Gütegrad der Anordnung



Die Ergebnisse der Messungen hinsichtlich Propulsionsgütegrad, Sog- und Nachstromziffer sowie Gütegrad der Anordnung sind in Abb. 11 über der Geschwindigkeit aufgetragen.

5.3 Vergleich der Seitenaufnahmen - $C_B = 0,85$

Um das Wellenbild bei den verschiedenen Bugformen vergleichen zu können, wurden von den fahrenden Modellen bei vergleichbaren Geschwindigkeiten Seitenaufnahmen gemacht, die in der

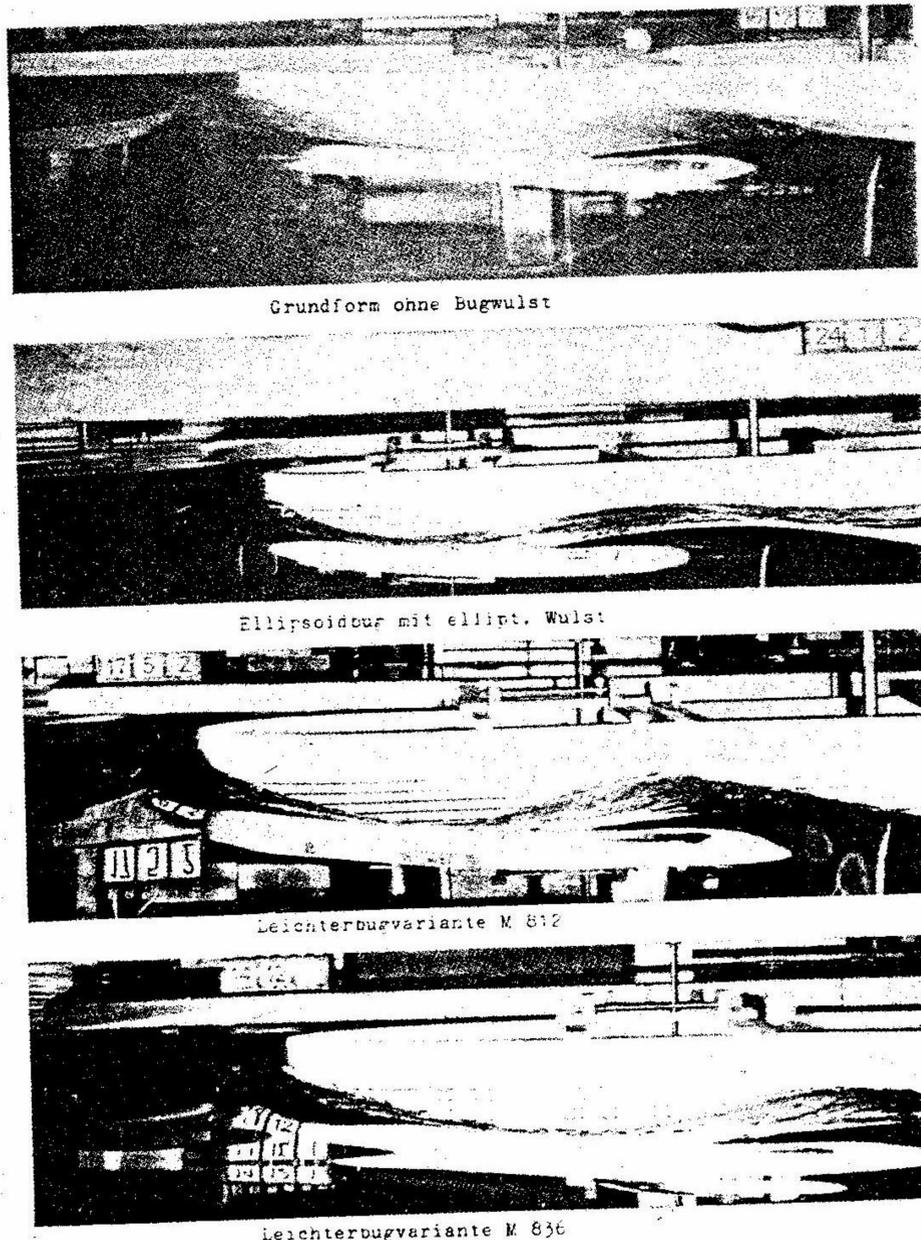


Foto-Tabelle 1 (weitere im Bericht) wiedergegeben sind. Die Gegenüberstellung läßt das in ursächlichem Zusammenhang mit der Linienführung stehende ungünstige Wellenbild bei der Ausgangsform und bei der Leichterbugvariante M 812 deutlich erkennen. Dagegen wird mit dem Vergleich der Seitenaufnahmen veranschaulicht, daß sowohl der Ellipsoidbug als auch die Leichterbugvariante M 836 eine bessere Umströmung des Modells bewirken. Die günstigen Eigenschaften dieser beiden Formen sind im wesentlichen auf die Verminderung der Wellenbildung am Bug und im Bereich der vorderen Schulter zurückzuführen.

5.4 Widerstands- und Leistungsmessungen — $C_B = 0,75$

Die Ergebnisse der Widerstands- und Propulsionsversuche mit der Ausgangsform und der Ellipsoidausführung sind in Abb. 12 dargestellt. Die Gegenüberstellung der Leistungswerte zeigt, daß zwar das Ellipsoidvorschiff auch bei der Völligkeit von $C_B = 0,75$ Vorteile bringt, die Leistungsersparnis auf tieferem Wasser ist aber nur minimal. Erst auf flachem Wasser und bei der damit verbundenen Veränderung der Umströmungsverhältnisse kommt die Ellipsoidausführung zur Geltung. Der Gewinn der Wellenleistung für die hier untersuchte Knickspant-Variante beträgt etwa 7 %.

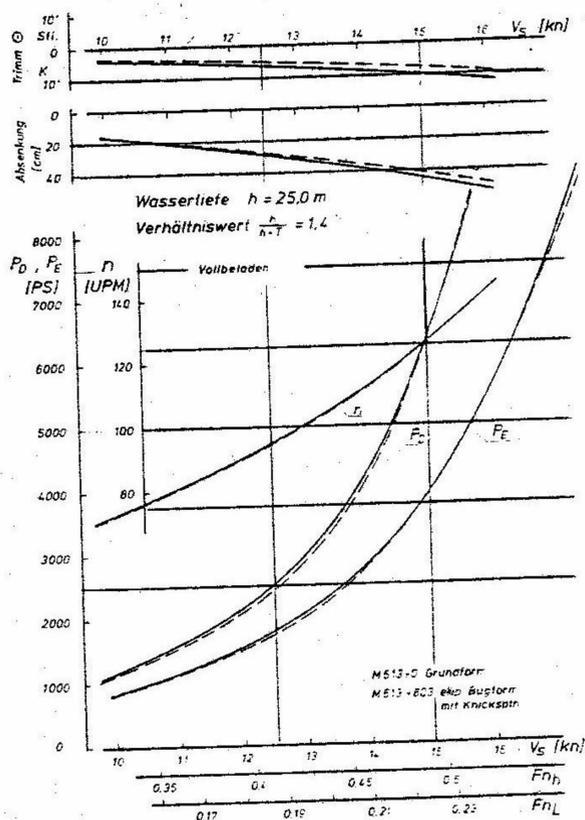


Abb. 12: Leistungsmessungen, $C_B = 0,75$

6. Zusammenfassung

Die im vorliegenden Bericht behandelten Modellversuche sind eine Fortsetzung der unter gleichem Thema in „Schiff & Hafen“, Heft 11/71 [1], veröffentlichten Arbeit (gleichlautender Titel). Die Fortsetzung enthält Ergebnisse von Widerstands- und Propulsionsversuchen mit zwei weiteren Vorschiffsausführungen für ein Seeschiffsmodell der Völligkeit $C_B = 0,85$. Die beiden Varianten wurden aus dem bereits untersuchten Ellipsoidvorschiff entwickelt, dessen Änderung in Anlehnung an Bugformen seegehender Leichter vorgenommen wurde.

Darüber hinaus wurde das Ellipsoidvorschiff, das in der vorausgegangenen Untersuchung die günstigsten Widerstands- und Propulsionseigenschaften aufwies, zusammen mit einem Bugwulst untersucht, um die Wirksamkeit einer solchen Anordnung an diese Form zu prüfen. Es zeigt sich, daß der Anbau eines Wulstes auch in diesem Fall zusätzliche Vorteile bringt. Die hierdurch erzielten Geschwindigkeitssteigerungen bewegen sich in der gleichen Größenordnung, wie diese von der Praxis her für die bisher üblichen Formen bekannt ist. Der Gewinn ist sowohl im beladenen als auch im Ballastzustand zu verzeichnen.

Ähnlich wie beim Ellipsoidvorschiff festzustellen war, zeigen die Leichterbugvarianten, daß es bei der Bugformgebung vor allem darauf ankommt, die Wasserlinien bis zu deren Übergang zum parallelen Mittelschiff allmählich zu verändern. Die Leichterbugvariante mit elliptischem Verlauf der oberen Wasserlinien ist trotz

der stark vereinfachten Form widerstands- und leistungsmäßig wesentlich günstiger als die Ausgangsform und kaum schlechter als der Ellipsoidbug.

Der Bericht enthält außerdem Ergebnisse von Vergleichsmessungen an zwei Modellen der Völligkeit $C_B = 0,75$. Die Gegenüberstellung der Widerstands- und Propulsionseigenschaften zeigt, daß das Ellipsoidvorschiff auch bei der geringeren Völligkeit Vorteile bringt. Der Gewinn gegenüber der Normalform ist jedoch kleiner als bei der Völligkeit $C_B = 0,85$ und vor allem auf flachem Wasser zu verzeichnen.

8. Symbolverzeichnis

(Es werden nach Möglichkeit die von der ITTC festgelegten Buchstabensymbole benutzt, vgl. „International vereinbarte Buchstabensymbole und Bezeichnungen auf dem Gebiet der Schiffshydrodynamik“, zusammengestellt von Prof. H. Amtsberg, „Schiff & Hafen“, Heft 4/1967).

A	Spantfläche allgemein
AE	Abgewinkelte und gestreckte Flügelfläche der Propeller
AO	Propellerkreisfläche
AR	Ruderfläche
B	Breite auf Spanten
c	Profilschiffenlänge
C_B, δ	Block-Koeffizient
C_F	Reibungswiderstandsbeiwert (ermittelt nach ITTC 57-Linie)
C_R	Restwiderstandsbeiwert
C_T	Gesamtwiderstandsbeiwert $C_T = R_T / (\rho/2 \cdot V^2 \cdot S)$
$C_T \nabla$	Auf die Verdrängung bezogener Gesamtwiderstandsbeiwert (Resistance-displacement coefficient) $C_T \nabla = R_T / (\rho \cdot V^2 \cdot \nabla^{2/3})$
d	Nabdurchmesser des Propellers
D	Propellerdurchmesser
FD	Reibungsabzug beim Propulsionsversuch
F_{nh}	Froude-Tiefenzahl $F_{nh} = V/\sqrt{g \cdot h}$
F_{nL}	Froude-Zahl $F_{nL} = V/\sqrt{g \cdot LPP}$
$F_n \nabla$	Auf die Verdrängung bezogene Froude-Zahl (Speed-displacement coefficient) $F_n \nabla = V/\sqrt{g \cdot \nabla^{1/3}}$
h	Wassertiefe
h	Seitenhöhe des Ruders
I	Fortschrittsziffer des Propellers
KQ	Drehmomentbeiwert
KT	Schubbeiwert
LWL	Länge in der Wasserlinie
LPP	Länge zwischen den Loten
LCB	Abstand des Verdrängungsschwerpunktes v. Hauptspant in % v. Länge
n	Propellerdrehzahl
P	Propellersteigung
PD	Wellenleistung am Propeller
PE	Schlepplleistung
R_n	Reynolds-Zahl (für Schiff mit LWL für Propeller mit $c_{0,7R}$)
R_T	Gesamtwiderstand
S	Benetzte Oberfläche des Schiffes
Sz	Absenkung
t	Sogziffer
t	Dicke des Ruderprofils
T	Tiefgang
T	Propellerschub
V_S	Schiffsgeschwindigkeit
∇, ∇'	Verdrängung auf Spanten
WT	Nachstromziffer, bestimmt über Schubidentität
Z	Propellerflügelzahl
η_D	Propulsionseffizienz
η_R	Gütegrad der Anordnung
η_0	Wirkungsgrad des freifahrenden Propellers
λ	Modellmaßstab
Θ	Trimmwinkel

7. Literaturverzeichnis

- [1] Luthra, G.: Untersuchung widerstandsgünstiger Bugformen für Seeschiffe sehr großer Völligkeit. VBD-Bericht Nr. 602, Schiff & Hafen, Heft 11/1971
- [2] BSRA-Berichte: Methodical Series Experiments on Ocean-going Merchant-ship forms. Resistance and Propulsion Experiments with Models of 0.85 Block Coefficient. Reports NS 107/1965, 123 and 147/1966
- [3] Luthra, G.: Widerstands-Untersuchung einer Seeschiffsmodellserie auf flachem Wasser. VBD-Bericht Nr. 596
- [4] Freimanis, E., Lindgren, H.: Systematic Tests with Ship Models with $\delta_{np} = 0,600 - 0,750$. 44. Mitteilung der SSPA, Göteborg
- [5] Schmidt-Stiebitz, H., Luthra, G.: Widerstands-Untersuchung einer Seeschiffsmodellserie auf flachem Wasser. Schiff & Hafen, Heft 8/1969
- [6] Collatz, G., Meyerhoff, K.: Systematische Widerstands- und Propulsionsversuche mit Modellen großer Völligkeit. FDS-Bericht Nr. 23/1971
- [7] Maßstabsuntersuchungen für ein Modell großer Völligkeit ($C_B = 0,85$). FDS-Bericht