

# Praktische Fortschritte in der Hinterschiffsgestaltung durch neue Einblicke in die Strömungsverhältnisse

250. Mitteilungs

der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V. Duisburg,  
Institut an der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen

ab. v. Scheepsbouwkunde  
Technische Hogeschool  
Delft

Dr.-Ing. Norbert von der Stein

Kurzfassung des Berichtes Nr. 1215 [1] der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau Duisburg über das AiF-Forschungsvorhaben Nr. 5534/6523\*

## Ausgangssituation und Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens

Die Untersuchungen behandeln Doppelschrauben-Großmotorschiffe für den Einsatz im Schubverkehr, der erwiesenermaßen gerade in der Formation „Großmotorschiff plus Leichter“ eine hydrodynamisch und wirtschaftlich besonders günstige Betriebsform darstellt.

Von einem schiebenden Großmotorschiff wird erwartet, daß es auch bei schlechten Wasserständen in ggf. mehreren Leichtern noch möglichst viel Ladung befördern kann. Es muß also seine hohe Antriebsleistung auch bei Mindesttiefgang voll einsetzen können. Der hierbei noch eintauchende untere Teil des Hinterschiffes, der eigentliche Tunnelbereich, muß wegen der hohen Antriebsleistung und im Hinblick auf die Flachwassereignung sehr schlank sein. Aus den gleichen Gründen sind zwei große Propeller und damit eine starke Austunnung unerlässlich.

Es lagen die verschiedensten konstruktiven Lösungen für derartige Hinterschiffe vor. Ein Teil dieser auch modellmäßig untersuchten Formtypen ist jedoch noch stark von der längere Jahre herrschenden Zielsetzung der Entwicklung und Forschung beeinflusst, die bis zur Ölkrise mehr auf Vereinfachung der Formen zur Baukostensenkung ausgerichtet war als auf optimale Energieausnutzung, und genügt den heutigen Ansprüchen nicht mehr.

Andererseits hat es schon vorher in der Schiffspraxis interessante Formentwicklungen gegeben, die nicht ausreichend wissenschaftlich untersucht worden sind. In den 50er Jahren, als die Lohnkosten noch sehr niedrig und die Energiekosten daher ähnlich gravierend wie heute waren, ist diese Richtung wegen der danach einsetzenden Strukturänderungen im Gewerbe nicht weiterverfolgt worden und weitgehend ungenutzt geblieben.

Auf diese frühere Entwicklung zurückzugreifen, erschien bei der Aufgabenstellung des vorliegenden Forschungsvorhabens

bens lohnend. Die Aufgabe bestand, vereinfacht gesagt, darin, die unsicher gewordene Richtung der Weiterentwicklung neu festzulegen, nachdem zwei stark gegensätzliche Grundrichtungen der Formgebung in vorausgegangenen Versuchen keine gravierenden Unterschiede gezeigt hatten. Es waren also weitere eingehende Untersuchungen über die Anwendbarkeit dieser beiden Formprinzipien erforderlich.

Als Form A wurde eine von der VBD entwickelte und partiell schon untersuchte Hinterschiffform mit betont engstehenden Propellern und nach hinten konvergierenden Wellen gewählt. Als Vertreter eines entgegengesetzten Konstruktionsprinzips mit großem Propellerabstand und parallelen Wellen wurde das Hinterschiff B auf der Basis eines vom Verfasser 1954 erstmals realisierten Formprinzips von ihm neu entworfen. Die Spantform der beiden Varianten ist in Bild 1 wiedergegeben.

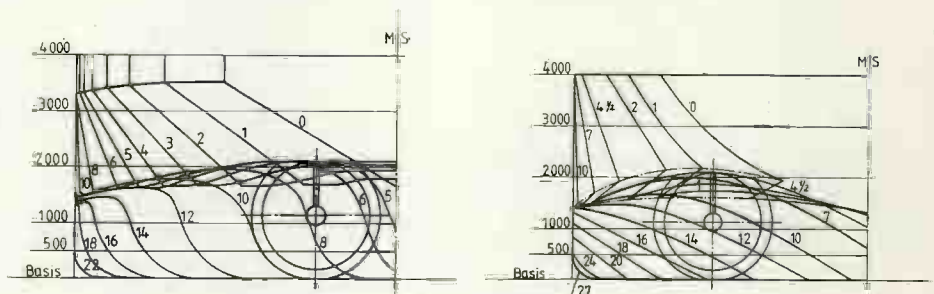
Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens weisen über die ursprüngliche Aufgabenstellung hinaus, insbesondere in Verbindung mit der Einführung einer neuen Versuchsmethode im zweiten Teil des Vorhabens.

Über die darin enthaltenen, zum Teil umfangreichen Zusatzuntersuchungen kann hier nicht näher berichtet werden, und es wird hierzu auf den Originalbericht [1] verwiesen.

Im Verlauf der Versuche zeigte sich, daß erst im Trossenzugversuch bei hohen, der Schubfahrt entsprechenden Leistungen die endgültigen Präferenzen sichtbar wurden. Diese Leistungsstufen waren im Propulsionsversuch ohne Leichter bei kleineren Wassertiefen überhaupt nicht und auf tiefem Wasser nur bei Maximalgeschwindigkeit im wenig aussagefähigen Steilanstieg zu erreichen. So wurde es notwendig, die Versuche im gesamten vorgesehenen großen Feld der Wassertiefen  $h$  und Tiefgänge  $T$  auch auf den gesamten Geschwindigkeitsbereich und vor allem überall bis zu hohen Leistungen von 2500 kW auszudehnen.

Da Propulsionsversuche mit Leichtern, die nur als einzelne Vergleichsversuche vorgesehen waren, zu aufwendig gewesen wären, wurde das Programm durch eine größere Anzahl von Trossenzugversuchen erweitert, um die oberen Leistungsstufen zu erschließen. Der erste Versuchsabschnitt ergab interessante Tendenzen und Teilergebnisse, aber noch kein endgültig

Bild 1 Spantenrisse der beiden untersuchten Hinterschiffe



Form A Modell 1192

Form B Modell 1193

## Ablauf des Vorhabens

### Grundvorhaben 1983/84

Der erste Versuchsabschnitt mit den beiden Hinterschiffsvarianten A und B (Bild 1) umfaßte 193 Widerstands-, Propulsions- und Trossenzugversuche bei 20 verschiedenen Konstellationen von  $h/T$ .

### Klares Urteil

### Fortsetzungsvorhaben 1986

Bei diesen Versuchen wurde erstmalig die in einer thematisch parallellaufenden, von den Forschungsmitteln unabhängigen Arbeit [2] vorgeschlagene neue Versuchsmethode angewandt. Sie besteht im wesentlichen darin, daß das Modell zwischen Hinterschiff (Antriebsteil) und dem restli-

\* Die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e. V., Köln, hat der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Duisburg, auf deren Antrag in dankenswerter Weise die Durchführung des Versuchsprogramms ermöglicht und das Vorhaben aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft gefördert.

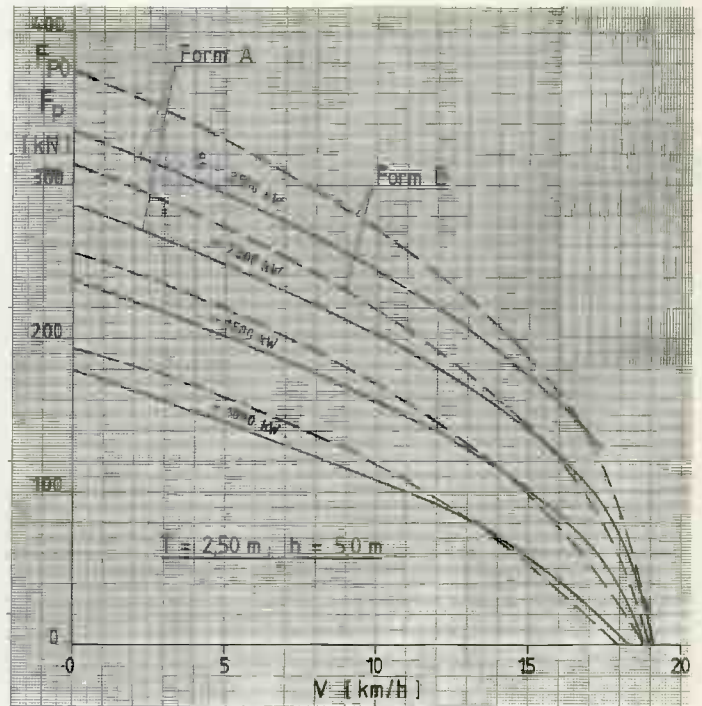
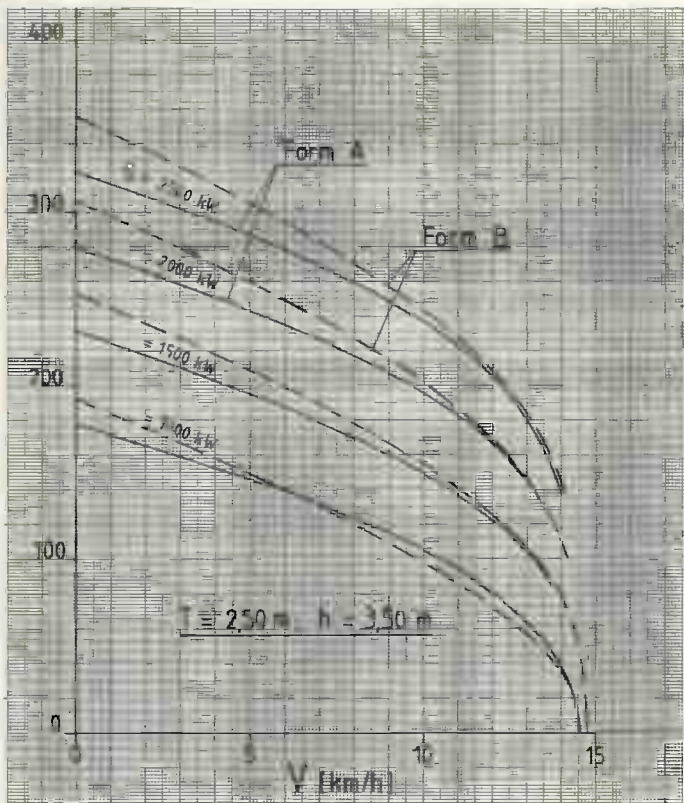


Bild 2 Auftragung der Trossenzugwerte Form A (Modell 1192),

Form B (Modell 1193) für zwei verschiedene Wassertiefen h

chen Schiffskörper (Ladungsteil) quer geteilt und in der Trennfuge die vom Hinterschiff ausgeübte Längskraft, der sog. Nutzs Schub  $F_P^*$ , zusätzlich gemessen wird. Näheres hierzu in Abschnitt 4.

Im Zusammenhang mit der Nutzs chubmessung konnten nun Widerstandsversuche und ein großer Teil der Propulsionsversuche entfallen, und es wurden überwiegend Trossenzugversuche gefahren. Hinzu kamen einige Propulsionsversuche mit Leichter, bei denen ebenfalls der gesamte Leistungsbereich erfassbar war. Nach den Erfahrungen des ersten Abschnittes wurden hierbei die  $h/T$ -Konstellationen auf 13 Varianten vermindert, mit Tiefgängen zwischen 1,7 und 3,5 m und Wassertiefen zwischen 3 und 15,8 m.

### Wertender Vergleich der Hinterschiffsformen A und B

Sowohl bei den Widerstandsversuchen als auch bei den Propulsionsversuchen in Alleinfahrt ergaben sich keine gravierenden Unterschiede, allenfalls die Tendenz, daß die Form A bei kleineren Leistungen (500–1000 kW) besser ist. Erst im Steilanstieg der Leistungskurven – oder wenn die Flachwasserverhältnisse es gestatten, höhere Leistungen auszufahren – tritt Gleichwertigkeit oder bei hohen Leistungen auch leichte Überlegenheit der Form B ein. Gerade im Flachwasserbereich entwickeln sich so die Vorzüge der Form B offensichtlich erst mit steigender Leistung und Propellerbelastung. Bei größeren Wassertiefen ( $h \geq 7,5$  m), wo bei den kleineren Tiefgängen bis 2,5 m Leistungen über 1000 kW erreicht werden, ist Form B besser. Diese allgemeine Tendenz im Verhalten der beiden Varianten bestätigt sich auch im Trossenzugversuch.

### Ergebnis der Trossenzugversuche

Die Trossenzüge wurden jeweils bei mehreren Geschwindigkeitsstufen (einschl.  $V = 0$ ) bis zu hohen Leistungen gemessen und dann die Werte  $F_P$  in mehreren Leistungsstufen vom Pfahlzustand bis annähernd zum Freifahrtzustand über der Geschwindigkeit aufgetragen. Aus diesem Diagramm ergibt sich für jeden Zustand ( $V$  und  $P_D$ ) die relative Wertung der Varianten unmittelbar aus der Höhe des Trossenzuges. In Bild 2 werden zwei derartige Vergleichsdiagramme gezeigt, in denen sich die  $F_P$ -Kurven in einer für mittlere und kleinere Wassertiefen typischen Weise überschneiden. Auch hier zeigt sich die Tendenz, daß die Form A durchweg bei geringerer Leistung und/oder höherer Geschwindigkeit – also bei niedriger Propellerbelastung – relativ günstiger liegt, wogegen die Form B bei

den im Schubetrieb interessanten Geschwindigkeiten und den jetzt durchgehend erfassbaren höheren Leistungen besser ist. Diese Überlegenheit von B wird mit steigender Wassertiefe immer deutlicher und ausgedehnter. Bei  $h \geq 7,5$  m gilt die Überlegenheit der Form B für den gesamten Tiefgangs-, Leistungs- und Geschwindigkeitsbereich.

In der linken oberen Ecke der Tabelle 1, in der die Bewertungsergebnisse aus allen Trossenzug-Vergleichsdiagrammen geordnet zusammengefaßt sind, gibt es einen engbegrenzten Bereich, in dem die Form A besser ist, und zwar dann, wenn kleine Wassertiefen mit nicht voll ausgenutztem Tiefgang befahren werden. Bei voller Ausnutzung dieser Wassertiefen ist auch hier die Form B gleichwertig oder etwas besser.

Für die Praxis bedeutet das die Überle-

	$h = 3,0$ m	$h = 3,5$ m	$h = 5,0$ m	$h = 7,5$ m	$h = 15,8$ m
$T = 1,7$ m		(A) etwas besser	(B) etwas besser		
$T = 2,0$ m	(A) besser	(B) gleichwertig bis etwas besser			
$T = 2,5$ m	(B) etwas besser	(B) etwas besser	(B) besser	(B) deutlich besser	
$T = 3,0$ m			(B) deutlich besser		
$T = 3,5$ m			(B) deutlich besser	(B) viel besser	(B) viel besser

Tabelle 1 Vergleichende Bewertung der Hinterschiffsvarianten Form A (Modell 1192) und Form B (Modell 1193) aus den globalen Beurteilungen der einzelnen Trossenzug-Vergleichsdiagramme

genheit des Formprinzips B für den Schubtrieb in beladenem Zustand und generell für hohe Belastungen, für die Form A eine partielle Eignung für die Alleinfahrt mit geringer Leistung oder nicht voll ausgenutztem Tiefgang auf flachem Wasser.

andererseits als **Hinterschiffs-Formeinfluß**. Dieser zeigt sich darin, daß der erforderliche Nutzschub (Nutzschubbedarf) ein und desselben Ladungsteiles sich stark verändern kann, wenn es mit Antriebsteilen unterschiedlicher Formcharakteristik kombiniert wird.

nen eine gemeinsame Nutzschubkurve  $F_P^*$  über  $V$  und zwei verschiedene, über die **Nutzschubidentität** verknüpfte Leistungskurven  $P_D$  über  $V$ , sowie zwei verschiedene Kurven des Nutzschubgütegrades (Bild 3).

In der Differenz der beiden  $P_D$ - bzw.  $\eta_F^*$ -Kurven zeigt sich der Formations-Formeinfluß, d.h. die Auswirkung der die Propulsion störenden Einflüsse, die sich durch den davorgesetzten Leichter ergeben. Wie man sieht, braucht das Motorschiff mit Leichter mehr Leistung, als wenn man den gleichen Nutzschub – bei Alleinfahrt des Motorschiffes – nur mit einem entsprechenden Trossenzug erzeugt. Die Antriebsleistung  $P_D$  ist 15% höher und der Nutzschubgütegrad entsprechend schlechter.

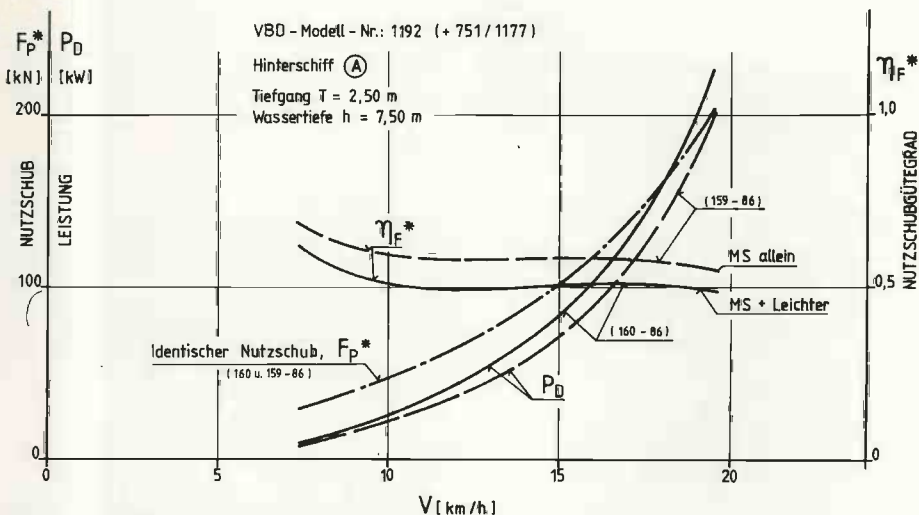
Dieser Mehraufwand an Leistung ist interessanterweise bei verschiedenen Hinterschiffen unterschiedlich stark ausgeprägt, d.h. die Empfindlichkeit eines Hinterschiffes gegenüber dem Formations-Formeinfluß ist formabhängig. In einem vorliegenden Vergleichsfall war die Form B weniger empfindlich, d.h. sie zeigte eine geringere Leistungsdifferenz als die Form A. Hierin kann ein zusätzliches Kriterium für den praktischen Wert einer Form liegen.

In ähnlicher Weise können 2 verschiedene Vorschiffe oder die verschiedene Anzahl und Anordnung von Leichtern verglichen werden.

#### Der Hinterschiffs-Formeinfluß

Die Größe des zur Fortbewegung eines bestimmten Ladungsteiles erforderlichen Nutzschubes hängt deutlich von der verwendeten Hinterschiffsform ab.

Die Güte eines Antriebsteiles liegt somit nicht nur in seinen eigentlichen Propulsionseigenschaften, die global im Nutzschubgütegrad erfaßt sind. Zusätzlich besteht auch eine nunmehr meßbare Fern-



**Bild 3 Formations-Formeinfluß eines vorgekoppelten Leichters**

#### Die Nutzschubmessung, ihre Bedeutung und Auswertung

Die Messung des Nutzschubes  $F_P^*$  erfolgt in der Trennfuge des Modells, die einheitlich im Abstand  $2B$  ( $2$  Schiffsbreiten) vor der Propellerebene angeordnet ist. Die beiden Teile des Modells sind biegesteif und reibungsfrei längsverschieblich miteinander verbunden.

Der Antriebsteil wird als Gesamtsystem aufgefaßt, dessen Eigenwiderstand,  $Sog$  usw. nur intern wirksam wird, wodurch der mit der Antriebsleistung  $P_D$  erzeugte, unbekannte Wellen- und Düsen Schub sich auf die in der Trennfuge gemessene Schubkraft reduziert. Faßt man diese als die eigentlich nutzbare Kraft  $F_P^*$  auf (analog zum Trossenzug eines Schleppers  $F_P$ ), so ergibt sich für das Hinterschiff als geschlossenes Antriebssystem ein dimensionsloser Nutzschubgütegrad

$$\eta_F^* = \frac{\text{Nutzschub } F_P^* \text{ [kN]} \times \text{Geschwindigkeit } V \text{ [m/s]}}{\text{Antriebsleistung } P_D \text{ [kW]}}$$

der unabhängig von den stark streuenden  $Sog$ - und  $Mitstrom$ -Werten und damit unter den vorliegenden Verhältnissen ein besserer Gütemaßstab ist als der Propulsionsgütegrad  $\eta_D$ .

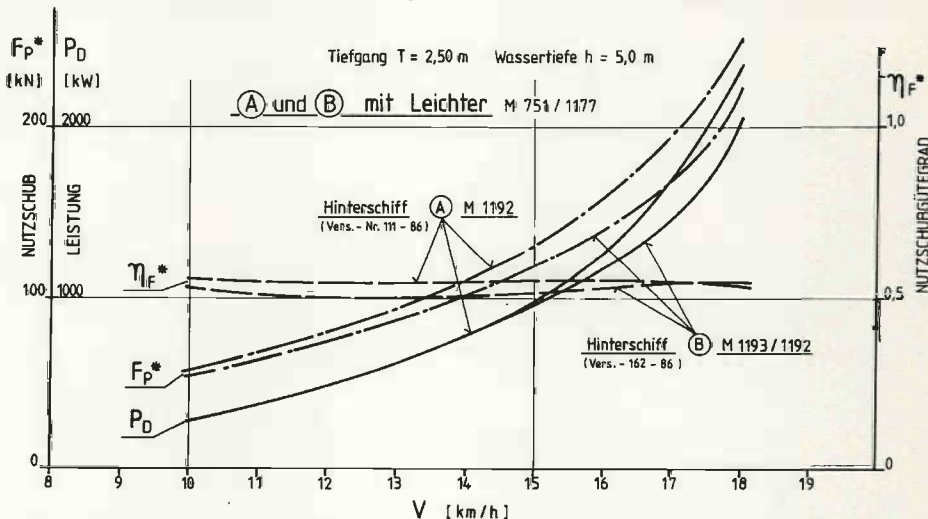
Dieser Nutzschubgütegrad erfaßt somit global alle am Hinterschiff angreifenden Längskräfte der Strömung. Möglicherweise im Zusammenhang mit der quasi willkürlichen Festlegung der Meßebeane kann er Werte  $\eta_F^* > 1$  annehmen.

Die mit dieser Versuchsmethode meßbare gegenseitige Beeinflussung von Antriebsteil und Ladungsteil tritt in zwei verschiedenen Formen auf, und zwar als **Formations-Formeinfluß**, d.h. als Veränderung der Effektivität des Antriebsteiles in Auswirkung verschiedener Leichterformationen oder Vorschiffsformen sowie

Wegen dieser gegenseitigen Beeinflussung ist für den praktischen Vergleich der Nutzschubgütegrad nicht allein ausreichend, sondern er muß stets in Verbindung mit anderen Größen betrachtet werden.

#### Formations-Formeinfluß und Nutzschubidentität

Beim Trossenzugversuch eines allein fahrenden GMS kann man durch entsprechende Wahl der Trossenzüge die gleichen Geschwindigkeits- und Leistungsverhältnisse erreichen, wie sie beim Propul-



**Bild 4 Hinterschiffs-Formeinfluß. Unterschiedlicher Nutzschubbedarf der gleichen Ladungsformation bei verschiedenen Hinterschiffen**

sionsversuch mit geschobenem Leichter vorliegen. Daher kann man die beiden Versuche nach dem Prinzip der Nutzschubidentität vergleichen. Aus den Meßwerten beider Versuche werden diejenigen Leistungswerte einander zugeordnet, die bei gleicher Geschwindigkeit den gleichen Nutzschub erbringen. So erhält man für die beiden verschiedenen Formations-

wirkung des Hinterschiffes auf den Widerstand des Ladungsteiles, d.h. auf die Höhe des Nutzschubbedarfes.

Bild 4 zeigt einen Vergleichsfall, wo die Form A trotz eines besseren Gütegrades, also nur infolge dieses Hinterschiffs-Formeinflusses insgesamt (d.h. im Leistungsbedarf) schlechter abschneidet. Der vom Hinterschiff A induzierte durchge-

hend höhere Nutzscharbedarf wird im unteren Teil der Leistungskurve durch den besseren Gütegrad ausgeglichen, so daß hier noch gleicher Leistungsbedarf von A und B besteht. Bei höheren Leistungen wird die Form B propulsionsmäßig (im Gütegrad) etwa gleichwertig und ist dort wegen des bei ihr weiterhin kleineren Nutzscharbedarfes deutlich besser. Die Folgerungen, die sich aus diesem starken Einfluß für die vergleichende Bewertung von Formvarianten ergeben, werden anschließend separat für den Propulsionsversuch und den Trossenzugversuch erläutert.

#### Relative Wertigkeit zweier Varianten im Propulsionsversuch

Positiv bewertet wird beim Propulsionsversuch die kleinere Leistung bei gleicher Geschwindigkeit, die entweder durch den höheren Gütegrad oder durch einen günstigen Hinterschiffs-Formeinfluß (mit niedrigem Nutzscharbedarf) zustande kommt. Wenn man für den Vergleich zweier Varianten 1 und 2 die Verhältniswerte der beiderseitigen Leistungen, Nutzscharbe und Gütegrade bildet, so stehen diese Wertigkeitsanteile in der einfachen Beziehung

$$\frac{P_{D①}}{P_{D②}} = \frac{F_P^* \textcircled{1} / F_P^* \textcircled{2}}{\eta_F^* \textcircled{1} / \eta_F^* \textcircled{2}}$$

Damit wird die relative Gesamtwertigkeit der Varianten zu einem Quotienten zweier Verhältniswerte mit folgender Bedeutung:

$$\text{Leistungsverhältnis} = \frac{\text{Hinterschiffs-Formeinfluß}}{\text{Nutzscharverhältnis}} \cdot \frac{\text{Gütegradverhältnis}}{\text{Bewertung der Propulsion}}$$

↑  
Gesamtwertigkeit

#### Relative Wertigkeit zweier Varianten im Trossenzugversuch

Weil der Trossenzug stellvertretend für einen größeren Scharbedarf aufgebracht wird, läßt man ihn sinngemäß am Ladungsteil angreifen (Bild 5). Über den Ladungsteil wirkt damit zusätzlich zur inneren Kraft (Nutzscharbedarf, Widerstand) auch noch eine äußere Kraft auf den Antriebsteil, der (als entgegengesetzte Gesamtkraft) den gemessenen Nutzschar  $F_P^*$  aufzubringen hat. Der Nutzscharbedarf des Ladungsteiles wird zur Differenzkraft  $\Delta F$  der beiden Meßwerte  $F_P$  und  $F_P^*$ .

Diese Zusammenhänge, die etwas komplizierter sind als beim Propulsionsversuch, werden anschaulicher in Bild 6. Darin sind die Trossenzugkurven und Nutzscharkurven der beiden Formvarianten für die Leistungsstufe  $P_D = 2000$  kW gemeinsam aufgetragen. Man sieht, daß der Nutzscharbedarf der Variante B – dargestellt als schraffierter Differenzbereich zwischen den Kurven für  $F_P$  und  $F_P^*$  – kleiner ist. Im Überschneidungspunkt der Nutzscharkurven bei 12 km/h erbringt die Form B noch einen merklichen höheren Trossenzug. Bei 16 km/h muß die Form A einen viel höheren Nutzschar aufbringen, im Trossenzug sind aber beide Varianten noch gleich gut.

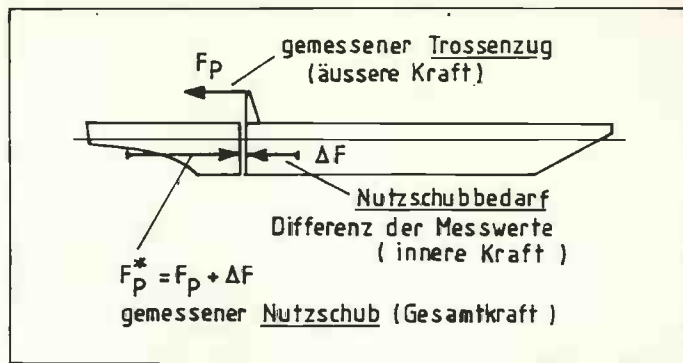


Bild 5 Kräfte und Meßwerte beim Trossenzugversuch mit geteiltem Modell

Auch bei Nutzscharmessung bleibt die Höhe des Trossenzuges  $F_P$  maßgebend für die Gesamtbewertung. Den Vergleich zweier Formvarianten 1 und 2 gibt also das

Verhältnis der Trossenzüge

$$Q = \frac{F_{P1}}{F_{P2}} \quad (\text{für gleiche Werte } P_D \text{ u. } V)$$

Hiervon ausgehend kann man für die Erfassung des Hinterschiffs-Formeinflusses nicht einfach die Werte für den Nutzscharbedarf ins Verhältnis setzen, sondern man muß von den Anteilen des Trossenzuges am Gesamtnutzschar ausgehen, den Trossenzugfaktoren

$$f_P = F_P / F_P^*$$

Hieraus ergibt sich das

$$\text{Trossenzuganteilverhältnis } Q_f = \frac{f_{P1}}{f_{P2}} = \frac{Q}{Q^*}$$

Darin enthalten ist das Nutzscharverhältnis  $Q^* = F_{P1}^* / F_{P2}^*$  das (bei gleichem  $V$  und  $P_D$  der Varianten) dem Verhältnis der Gütegrade entspricht und den Bewertungsmaßstab für die Propulsionsverhältnisse darstellt.

Nun kann der Zusammenhang der Wertigkeitsanteile als Produkt mehrerer Verhältniswerte dargestellt werden; er lautet prinzipiell

$$Q = Q^* \cdot Q_f$$

Gesamtwertigkeit = Propulsion    Hinterschiffs-Formeinfluß

Bei näherer Betrachtung muß aber noch ein sog. „Neutrales Trossenzuganteilverhältnis  $Q_{fN}$ “ eingeführt werden, da sich  $Q_f$  auch unabhängig vom Hinterschiffs-Formeinfluß verändert.  $Q_{fN}$  ist eine Größe, die sich aus  $Q^*$  und dem Trossenzugfaktor errechnen läßt und die obigen Wertigkeitsanteile noch um einige Prozent verändern kann. (Einzelheiten

**WIR HELFEN IHNEN BEI DER SUCHE NACH QUALIFIZIERTEN MITARBEITERN**

**WIR VERMITTELN:**

Schiffsführer,  
Maschinisten,  
Matrosen,  
Aushilfskräfte,  
(Patentinhaber  
und Matrosen),  
Schiffsjungen.

**FACH-VERMITTLUNG FÜR BINNENSCHIFFER**



Bundesanstalt für Arbeit



2800 **Bremen 1**  
Tilsiter Straße 2-4  
Telefon (0421) 8772-637

4100 **Duisburg 13**  
Vincweg 5  
Telefon (0203) 86091-92

2000 **Hamburg 1**  
Norderstraße 105  
Telefon (040) 24 85-13 22

4690 **Herne**  
Schleuse Herne-Ost  
Telefon (0 23 23) 595-202

5400 **Koblenz**  
Rudolf-Virchow-Straße 5  
Telefon (0261) 405-276, 465 00

6800 **Mannheim 1**  
Hafenstraße 23  
Telefon (0621) 165-393, -395

4950 **Minden**  
Hermannstraße 1  
Telefon (0571) 250 41

8400 **Regensburg**  
Donaulände 20  
Telefon (0941) 508-359

sind in [1] und [3] näher erläutert.) So ergibt sich die erweiterte Formel für die Wertigkeitsanteile im Trossenzugversuch mit Nutzschiebungsmessung

$$Q = \frac{Q^* \cdot Q_{FN}}{1,05 \cdot 1,03} = \frac{Q_i / Q_{FN}}{0,93 / 1,03}$$

$$0,98 \approx 1,08 \cdot 0,90$$

Die Zahlenwerte unter der Formel entsprechen annähernd den Kurven in Bild 5 bei 15 km/h. Die Variante 1 ist (in diesem Meßpunkt) in der Gesamtbewertung 2% schlechter, bei um 8% besserer Propulsion und 10% schlechterem Hinterschiffs-Formeinfluß.

## Sonstige Untersuchungen

Zu den teilweise sehr eingehenden Nebenuntersuchungen seien hier nur wenige Einzelheiten erwähnt.

Bei der Drehsinnoptimierung der Form B zeigte sich, daß beide Drehrichtungen auf tiefem Wasser etwa gleichwertig sind und erst auf flachem Wasser sich die Entscheidung ergibt. Hier wirkte sich die Drehsinnänderung hauptsächlich auf den Gütegrad aus und kaum auf den Nutzschiebbedarf.

Ein kantiger Spantfuß an der Bodenlinie des Tunnelbereiches der Form B erwies sich auf flachem Wasser als besser gegenüber einer Abrundung.

Diese und ähnliche Einzelheiten des Strömungsverlaufes im Tunnel wurden durch Unterwasserfotos von aus dem Modell austretenden Milchstromfäden zusätzlich erkennbar gemacht.

## Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

### Die wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse

Im Vergleich der Formen A und B ergab sich für die vorgesehene Verwendung als schiebendes GMS eine deutliche Präferenz für den Formtyp B. Unter Freifahrtbedingungen auf flachem Wasser ist auch der Formtyp A sehr gut. Es ergibt sich also für die beiden verschiedenen Formtypen eine spezifische Eignung für verschiedene Verwendungszwecke.

Ein wesentlicher Unterschied der beiden Formen scheint – bei relativ ähnli-

chen Formkennwerten – im Propellerabstand zu liegen. Gestützt auf die Unterwasserfotos mit Milcheinspritzung kann man vermuten, daß bei der Form A bei hohen Belastungen der beabsichtigte Zustrom von den Seiten nicht voll erreicht wird, so daß die weit mittig liegenden Propeller aus der Bodenströmung ansaugen müssen. Inwieweit der oftmals ungünstigere Hinterschiffs-Formeinfluß von A hiermit zusammenhängt, läßt sich noch nicht übersehen. Jedenfalls scheint der theoretische Vorteil der entstehenden konvergierenden Wellen nur bei kleineren Belastungen zum Tragen zu kommen.

Sobald Schubfahrt (hohe Leistung und Propellerbelastung) verlangt wird, ist eine Formbewertung nach einzelnen Propulsionsversuchen nicht ausreichend, weil sich die Ergebnisse bei höheren Belastungen und auch bei anderen h/T-Verhältnissen sehr stark verändern können, sogar bei Einzelheiten wie dem optimalen Drehsinn. Die Eigenschaften einer Hinterschiffsform können sich im großen Be-

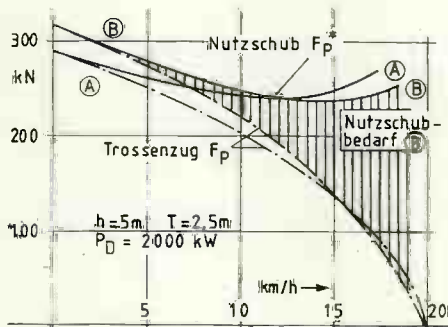


Bild 6 Kombinierte Auftragung von Nutzschiebung und Trossenzug bei konstanter Leistung

reich der Versuchsparameter ganz verschieden entfalten. Der Trossenzugversuch dürfte deswegen für vergleichende derartige Untersuchungen erhöhte Bedeutung bekommen.

Der Hinterschiffs-Formeinfluß und der Formations-Formeinfluß sind überraschend stark. Insofern verbessern die neuen Einblicke in diese gegenseitigen Strömungseinflüsse den Aussagewert der Versuche und die Möglichkeiten der Weiterentwicklung. Entsprechend wird die neue Methode der Nutzschiebungsmessung von der VBD inzwischen auch bei anderen Forschungsprogrammen angewandt.

### Ausblick auf weitere Entwicklungen

Weitere Schritte ergeben sich aus dem vorliegenden Forschungsvorhaben und seinen Ergebnissen im Zusammenhang mit einigen anderen Vorschlägen und De-

initionen aus [2]. Hierbei handelt es sich um ein System von Formkennwerten und Formtypdefinitionen, mit dem sich die Formcharakteristika der hier behandelten Schiffe besser beschreiben und zahlenmäßig fixieren lassen und das gleichzeitig die gewonnenen Erkenntnisse des Vorhabens auf Schubboote übertragbar macht.

Insbesondere unter Anwendung der neuen Versuchsmethode mit Nutzschiebungsmessung, die eine getrennte Optimierung von Hinterschiffsformen, Vorschiffen, Leichterformen und Leichterformationen bei gleichzeitiger Erfassung und Kontrolle der gegenseitigen Beeinflussung erlaubt, kann damit systematischer als bisher bei der Formvariation und Formoptimierung vorgegangen werden.

Aus diesen Überlegungen zur Systematisierung der Formgebungsmöglichkeiten hat sich – sozusagen synthetisch – ein weiterer bisher nicht gebräuchlicher Formtyp ergeben, der gute hydrodynamische Eigenschaften mit einfacher Bauweise verbinden soll. Ein Hinterschiffsentwurf dieses Typs mit identischen Formkennwerten wie die Form B wird bereits in einem noch laufenden, ebenfalls AiF-geförderten Anschlußvorhaben untersucht.

Nach den bisherigen Ergebnissen scheint hiermit ein Formtyp gefunden zu sein, welcher die schwerpunktmäßig für bestimmte Verwendungsbereiche geltenden Vorteile der beiden Formen A und B in sich vereinigt. Danach ist die neue Form auch im Flachwasserbereich der Form A überlegen und in den wesentlichen übrigen Bereichen etwa gleichwertig mit der Form B, die nur auf tiefem Wasser und bei sehr hohen Leistungen partielle Vorteile behält.

## Literatur

- [1] Bericht Nr. 1215 der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau Duisburg über das AiF-Forschungsvorhaben 5534/6523 – „Hinterschiffs- und Antriebsoptimierung für Großmotorschiffe auf dem Rhein mit systematischer Auswertung bisher wissenschaftlich ungenutzter Erfahrungen und Entwicklungen aus der Praxis“, 1988.
- [2] von der Stein, N.: Beitrag zur Formgebung und deren systematischer Bewertung bei hochbelasteten Mehrschrauben-Tunnelschiffen. Dissertation Aachen 1986.
- [3] von der Stein, N.: Neue Bewertungskriterien für die Formgebung von getunnelten Mehrschrauben-Hinterschiffen. Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Bd. 82, 1988.

Kopien des vollständigen Berichtes mit Zeichnungs- und Diagramm-Anlagen können zum Selbstkostenpreis zuzüglich Porto von der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Klöckerstraße 77, 4100 Duisburg 1, bezogen werden.