

Ruder im Wirkungsbereich eines Düsenpropellers

Ing. (grad.) B. Baumgarten, Delft
 Dr.-Ing. E. Müller¹⁾ 2)

1. Einleitung

Der Begriff „Sicherheit auf den Wasserstraßen“ umfaßt neben der technischen Sicherheit an Bord von Schiffen die Fahrsicherheit im Verkehr. Bei der heutigen Größe der Schiffseinheiten und -verbände bildet ein gutes Manövrier-, Kurs- und Stoppverhalten vor allem in engen Verkehrsbereichen, bei geringer Wassertiefe und bei langsamer Fahrt einen wesentlichen Faktor zur Erhöhung der Sicherheit. Die oft große Verkehrsdichte bedingt in rascher Folge notwendige Manöver, welche nur dann sicher durchgeführt werden können, wenn u. a. schnell und optimal wirkende Ruderanlagen eingebaut werden, die auch unter extremen Bedingungen zuverlässig arbeiten müssen. Bei dem Entwurf einer Ruderanlage ist deshalb das Gesamtsystem „Schiff — Propeller — Ruder“ zu behandeln.

Die Festlegung der Ruderzahl, des Abstandes und der Lage des Ruders zum Propeller und zum Schiff sowie der Abmessungen und der Profildicke sollte nicht nur nach rein konstruktiven Gesichtspunkten erfolgen, sondern vor allem unter Berücksichtigung der im Bereich des Hinterschiffes herrschenden hydrodynamischen Vorgänge.

Die entscheidenden Kriterien für die Wirksamkeit einer Ruderanlage sind die am Ruder selbst angreifenden Kräfte und Momente. Ihre Vorausbestimmung erfolgte bisher mit Unterlagen, die z. B. unter Zugrundelegung der im Windkanal ermittelten Ergebnisse von Kwik und Thieme geschaffen worden sind [1], [2]. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß dabei die Profiluntersuchungen in gleichmäßiger Anströmung vorgenommen wurden.

Ziel der hier gekürzt wiedergegebenen Arbeit war die Vervollständigung und Ergänzung der in der VBD begonnenen Ruderuntersuchungen, die vornehmlich für Binnenschiffe Gültigkeit haben³⁾.

2. Versuchsplanung

Durch die bisher in der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V. in Duisburg ausgeführten Versuche [3], [4] hat sich gezeigt, welchen Einfluß der Schiffskörper, vor allem die Hinterschiffsform, und die Anordnung des Ruders zum Propeller auf die Ruderkräfte und -momente ausüben.

Deutlich konnte die starke Abhängigkeit der Ruderkräfte von der Anströmungsgeschwindigkeit des Propellers und der Strahldrehung aufgezeigt werden. Eine realistische Abschätzung der Ruderkräfte ist nur unter den Anströmverhältnissen „Ruder freifahrend im Propellerstrahl“ und „Ruder am Schiff im Propellerstrahl“ möglich. Für die vorliegende Arbeit sind die erforderlichen Versuche daher auf diese beiden Versuchszustände beschränkt worden.

Ein Ruder soll sowohl bei Voraus- als auch bei Rückwärtsfahrt sicheres Manövrieren gewährleisten. Da bei Rückwärtsfahrt auf Grund fehlender Propellerabströmung andere Ruderanström- und Umströmungsverhältnisse als bei Vorausfahrt vorliegen und hierüber theoretische Analysen, praxisnahe Untersuchungen oder Erfahrungswerte bisher nur sehr begrenzt bekannt geworden sind, wurden die Ruderuntersuchungen auch bei rückdrehendem Propeller und negativer Fortschrittsgeschwindigkeit durchgeführt.

- 1) 182. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V. Duisburg, Institut an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.
- 2) Die Mittel zur Durchführung der Untersuchung stellte dankenswerterweise die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. zur Verfügung.
- 3) Die vollständigen Ergebnisse liegen im VBD-Bericht Nr. 841 vor.

Eine in der Binnenschifffahrt häufig verwendete Antriebs- und Steuereinheit, die vorwiegend bei Schleppern und Schubbooten eingebaut wird, ist das System „Düsenpropeller und Ruder“. Die höhere Anströmgeschwindigkeit des Ruders beim Düsenpropeller gegenüber dem nichtummantelten Propeller läßt bei Vorausfahrt neben guter Vortriebswirkung auch gute Steuereigenschaften erwarten, die auch noch bei langsamer Fahrgeschwindigkeit in ausreichendem Maße vorhanden sein werden.

Bei Rückwärtsfahrt liegt das Ruder, in Anströmrichtung gesehen, vor der Düse und wird nicht mehr durch den Strahl angeströmt. Die prozentuale und geometrische Verteilung der Ruderfläche vor und hinter dem Drehpunkt wird umgekehrt. Dadurch kann die Wirksamkeit des Ruders im Vergleich zur Vorausfahrt wesentlich herabgesetzt werden. Ungünstige Strömungsverhältnisse im Ruderbereich auf Grund der geometrischen Düsenbeschaffenheit können die Steuereigenschaften noch zusätzlich beeinträchtigen. Konkrete Werte sollten die systematischen Untersuchungen bei den Versuchszuständen „Ruder freifahrend hinter Propeller und Düse“ und „Ruder hinter Propeller und Düse am Modell“ bei Fahrtrichtung „voraus“ und „zurück“ bringen. Es wurde aber nur eine Düsenform bei den Untersuchungen verwendet, so daß ein Einfluß der Düsenparameter nicht erfaßt werden konnte.

Als Untersuchungsobjekte wurden Rudertypen benutzt, die sich in der Profilform wesentlich voneinander unterscheiden, jedoch in der Praxis der Binnenschifffahrt überwiegend Anwendung finden.

Die Ruderabmessungen sind den Versuchsverhältnissen, wie z. B. Hinterschiffsform des Trägermodells, dem

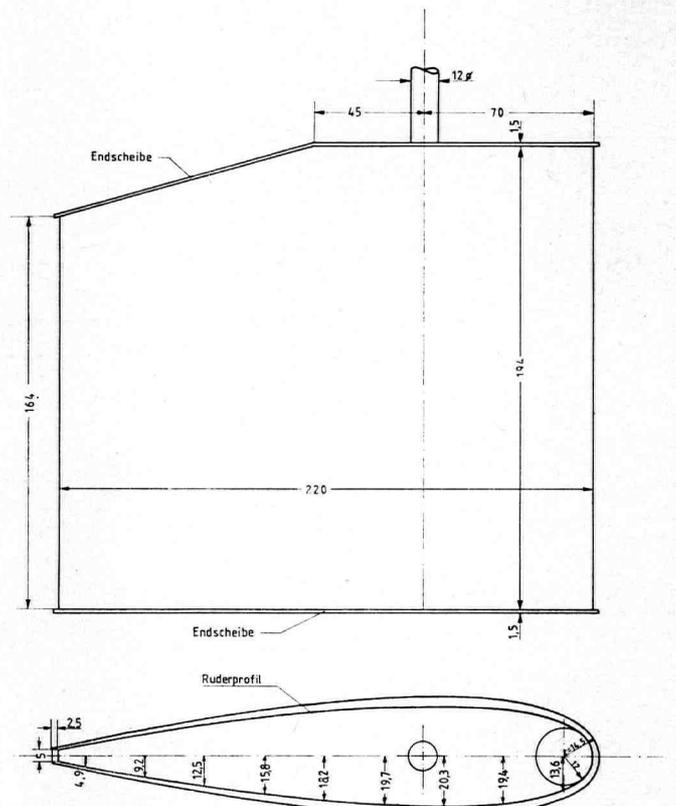


Bild 1 Normalruder für ein Schubboot mit Düse

Propellerdurchmesser oder den Gegebenheiten hinter einer Propellerdüse angepaßt worden.

Bei der Auslegung der Profilaufmaße und der Profillänge spielt das Profildickenverhältnis t/c eine entscheidende Rolle.

Dieses Verhältnis ist eines der Kriterien für Größe und Verlauf der Ruderkraftgradienten. Werte im Bereich von $t/c = 0.1 \div 0.2$ haben sich im Versuch und in der Praxis als günstig erwiesen. Während bei Werten von $t/c < 0.1$ die Gefahr des Strömungsabrisses bei Ruderwinkeln $\delta_R \leq 25^\circ$ besteht, liegt bei Werten von $t/c > 0.2$ die Gefahr in der größeren Kavitationsanfälligkeit.

Die für die Versuchsserie verwendeten Ruder hatten Profil-Dickenverhältnisse zwischen $t/c = 0.15 - 0.184$.

Es wurden folgende Ruder untersucht:

1. Normalruder für ein Schubboot mit Düse; $t/c = 0.184$ (Bild 1)
2. Flossenruder für ein Schubboot mit Düse; $t/c = 0.15$
3. Dünnschwanzruder für ein Schubboot mit Düse; $t/c = 0.151$
4. Dünnschwanzruder für ein Binnenfrachtschiff mit Tunnel; $t/c = 0.17$.

Im vorliegenden Aufsatz werden die Ergebnisse des unter Punkt 1 angeführten Ruders vorgelegt.

3. Versuchstechnik

Durch den gewählten Maßstab 1:10 konnten Reynoldszahlen erreicht werden, die bei Vorauffahrt auf Grund hoher Propellerstrahlgeschwindigkeiten im Bereich von $0.38 \cdot 10^6 < R_n < 0.7 \cdot 10^6$ lagen. Die niedrigeren Ruderanströmgeschwindigkeiten bei Rückwärtsfahrt bedingten Reynoldszahlen zwischen $0.1 \cdot 10^6 < R_n < 0.33 \cdot 10^6$.

Propellerdaten:	Modellwerte	Düsensdaten:
$D = 0.21 \text{ m}$		$D_A = 0.285 \text{ m}$
$P/D = 1.05$		$D_P = 0.213 \text{ m}$
$A_E/A_0 = 0.71$		$L_D = 0.190 \text{ m}$
$z = 4$		

Für die Messungen wurde eine in der VBD vorhandene Mehrkomponenten-Meßwaage benutzt. Die Waage erhielt zusätzlich einen Schrittmotor, der die Ruderlage um die gewünschten Winkelschritte $\Delta\delta_R$ veränderte. Die am Ruder angreifenden räumlichen Kräfte und Momente werden über den Ruderschaft in die Mehrkomponentenwaage übertragen. Hier erfolgt die Umsetzung der Kräfte mittels Dehnungsmeßstreifen in elektrische Signale, die anschließend verstärkt, gefiltert und einer Datenerfassungsanlage zugeführt werden.

Bei der Untersuchung der Ruder „freifahrend im Propeller- oder Propeller-Düsen-Strahl“ ist ein spezielles Freifahrgerät als Propellerantrieb eingesetzt worden. Der Winkeltrieb des Gerätes ist so schlank gehalten, daß nur eine geringe Beeinflussung der Propelleranströmung erfolgt.

Ruder- und Propellerantriebsschaft waren unter Wasser mit einem Strömungsprofil verkleidet. Bei dem Versuchszustand „Ruder am Modell im Propeller- oder Propeller-Düsen-Strahl“ befand sich die Mehrkomponenten-Meßwaage fest verschraubt im Schiffsmodell. Der Ruderschaft hatte in der Durchführung durch den Modellboden ausreichend Spiel.

4. Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen wurden bei einer Wassertiefe von $h = 750 \text{ mm}$ im großen Schlepptank der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau in Duisburg durchgeführt.

Das Versuchsprogramm umfaßte im wesentlichen zwei Hauptgruppen:

- a) Ruder freifahrend hinter dem Propeller oder der Propellerdüse
- b) Ruder am Modell hinter dem Propeller oder der Propellerdüse.

Die Propellerdrehzahl betrug bei allen Versuchen $n = 900 \text{ 1/min}$, wobei die Drehrichtung abhängig von der Fahrtrichtung war.

In jeder Hauptgruppe wurden sowohl für Vorwärts- als auch für Rückwärtsfahrt mehrere Versuchsreihen mit unterschiedlicher Schleppwagengeschwindigkeit durchgeführt.

Während einer Versuchsreihe ist bei vorgegebener Geschwindigkeit der Ruderwinkel δ_R in Schritten von $\Delta\delta_R = 2.5^\circ$ bzw. 3.0° über einen Bereich von 45° bis 45° Stb variiert worden.

Die Schiffsmodelle lagen auf ebenem Kiel und waren bis zum Konstruktionstiefgang abgeladen. Trimm und Absenkung konnten nicht erfolgen, da die Modelle fest an der Schleppwagenbühne eingespannt waren.

Eine weitere für die Auswertung wichtige Versuchsreihe bildete die Aufmessung des Nachstromfeldes hinter dem in Düse arbeitenden Propeller freifahrend und am Modell. Da für dieses Antriebssystem kein praktikables Verfahren zur Berechnung der Ruderanströmgeschwindigkeit vorhanden ist, sind die erzeugten Propellerabstromgeschwindigkeitsfelder in Abhängigkeit von der Schleppwagengeschwindigkeit durch Druckmessungen ermittelt worden, und zwar in der Ebene der Rudereintrittskante.

5. Versuchsauswertung

Die Auswertung der Kraft-Meßdaten erfolgte weitgehend mittels EDV. Das erforderliche Rechenprogramm ist so gestaltet worden, daß die Ergebnisse sowohl ausgedruckt als auch punktweise geplottet werden konnten. Eine Approximation der Versuchswerte wird nicht vorgenommen.

Um die untersuchten Ruder untereinander oder auch die Ergebnisse anderer Ruderversuche mit diesen vergleichen zu können, sind die Momente und die Quer- und Längskräfte in dimensionsloser Form grafisch aufgetragen worden.

Die Normierung erfolgte in allgemein üblicher Form.

Es ist:

$$C_D = \frac{D}{\rho/2 \cdot V_{AN}^2 \cdot A_R} \quad \text{Ruderwiderstand — Beiwert}$$

$$C_L = \frac{L}{\rho/2 \cdot V_{AN}^2 \cdot A_R} \quad \text{Ruderauftrieb — Beiwert}$$

$$C_N = \frac{N}{\rho/2 \cdot V_{AN}^2 \cdot A_R \cdot c} \quad \text{Rudermoment — Beiwert}$$

$$c_0 = \frac{N}{L \cdot \cos \delta_R - D \cdot \sin \delta_R} \cdot \frac{100}{c} \quad [\%]$$

Lage des Druckpunktes in % von c , bezogen auf die Ruderdrehachse

Die Definition der Ruderkräfte ist Bild 2 zu entnehmen. Zur Normierung der Kräfte und Momente sind jeweils die Ruderfläche und die Ruderanströmgeschwindigkeit eingesetzt worden.

Die Abströmgeschwindigkeiten für das freifahrende und das am Modell befestigte System „Propeller in Düse“ sind

$$\text{für mehrere Fortschrittsziffern } J = \frac{V}{n \cdot D} \text{ bzw. } J = \frac{V_A}{n \cdot D}$$

aus den Nachstrommessungen ermittelt und in Abhängigkeit von der Meßposition über den entsprechenden Propelleranströmgeschwindigkeiten abgetragen worden (Bild 3 und 4). Für jede Fortschrittgeschwindigkeit wurde eine

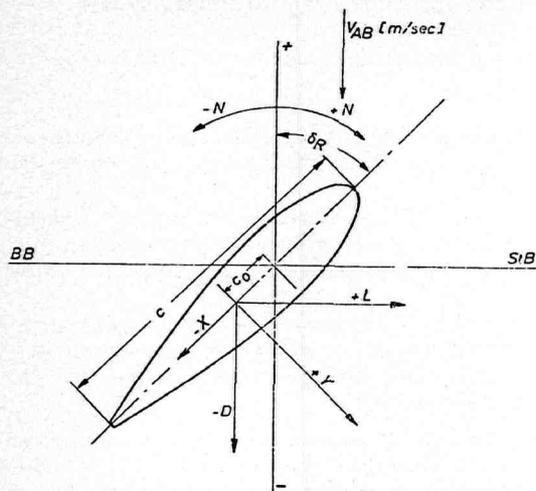


Bild 2 Definition der Kräfte am Ruder (Ansicht von oben)

- L [N] = Ruderauftrieb positiv nach rechts
- D [N] = Ruderwiderstand positiv nach oben
- Y [N] = Rudernormalkraft positiv nach rechts
- X [N] = Rudertangentialkraft positiv nach oben
- N [Nm] = Rudermoment positiv rechtsdrehend bezogen auf die Ruderdrehschwerachse
- δ_R [°] = Ruderanstellwinkel positiv rechtsdrehend
- c_0 [m] = Lage des Momentennullpunktes bezogen auf den Ruderdrehpunkt in % von c
- c [m] = Ruderprofillänge

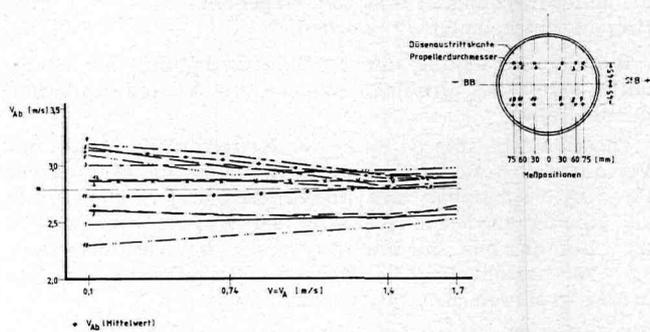


Bild 4 Düse am Schubboot — Strahlgeschwindigkeit 5 mm Δ 0,024 D hinter Düsenaustrittskante in Abhängigkeit von der Eintrittsgeschwindigkeit in die Düse

arithmetisch gemittelte Propellerabströmgeschwindigkeit (= Ruderanströmgeschwindigkeit) gebildet. Es zeigte sich, daß bei freifahrendem System die Ruder-Anströmgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Fortschrittsziffer wesentlich geringer geändert wird als im angebauten Zustand am Modell.

Die Ergebnisse der Ruderkräftmessungen bei Rückwärtsfahrt wurden nicht in vorgenannter Art normiert. Wie die durchgeführten Geschwindigkeitsmessungen zeigten, sind hierbei die Ruderanströmgeschwindigkeiten der Schlepptwagengeschwindigkeit annähernd gleichzusetzen, d. h., der Einfluß des Propellers auf die Anströmung des Ruders war bei Rückwärtsfahrt nicht meßbar.

$$-V_A \approx -V$$

Eine Normierung der Meßergebnisse und anschließender Vergleich mit den Beiwerten der Vorausfahrt ist nicht sinnvoll, da die Relationen verzerrt werden.

Um dennoch eine Vergleichsmöglichkeit zu haben, wurden die Längs- und Auftriebskräfte sowie die Momente um die z-Achse (Hochachse) zu den Absolutwerten der Vorausfahrt ins Verhältnis gesetzt. Hierdurch blieben die Vorzeichen, die als Merkmal für die tatsächliche Wirkrichtung gemäß Kräfteffinition dienen, erhalten. Es gilt:

$$q_D = \frac{D_{\text{rückw.}}}{|D_{\text{vor}}|} \cdot 100 \text{ [‰]}$$

$$q_L = \frac{L_{\text{rückw.}}}{|L_{\text{vor}}|} \cdot 100 \text{ [‰]}$$

$$q_N = \frac{N_{\text{rückw.}}}{|N_{\text{vor}}|} \cdot 100 \text{ [‰]}$$

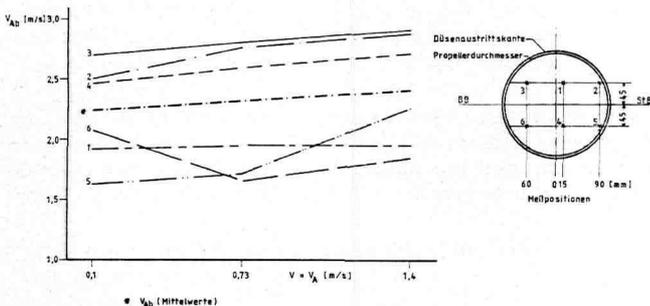


Bild 3 Strahlgeschwindigkeit 5 mm Δ 0,024 D hinter Düsenaustrittskante in Abhängigkeit von der Eintrittsgeschwindigkeit in die Düse — Freifahrtversuch

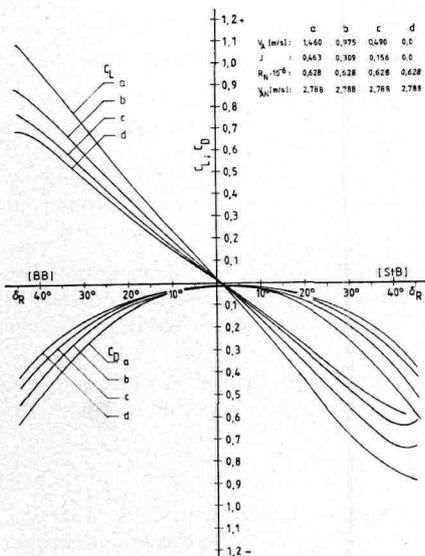


Bild 5 Normalruder — freifahrend im Propeller-Düsenstrahl bei Vorausfahrt

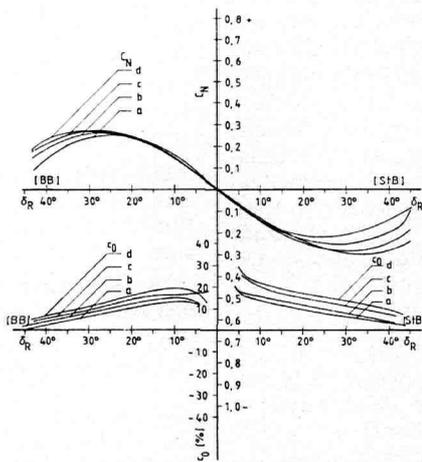


Bild 6 Normalruder — freifahrend im Propeller-Düsenstrahl bei Vorausfahrt

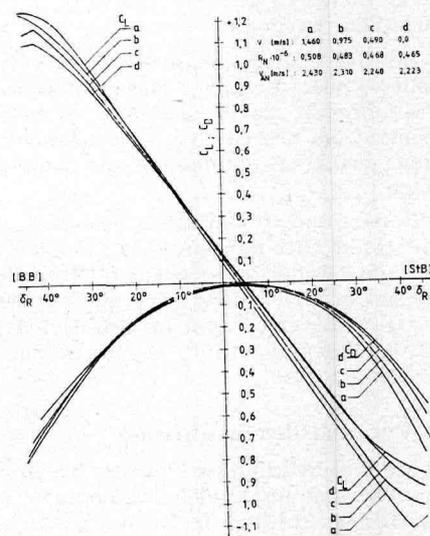


Bild 7 Normalruder am Modell im Propeller-Düsenstrahl bei Vorausfahrt

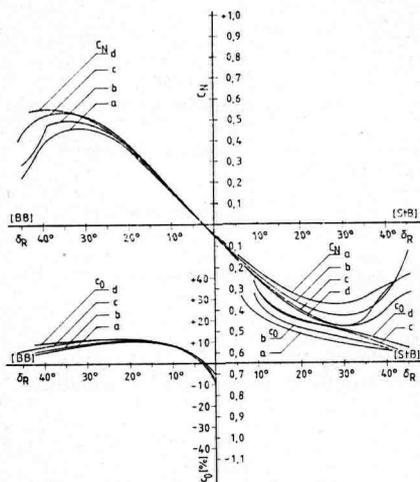


Bild 8 Normalruder am Modell im Propeller-Düsenstrahl bei Voraussfahrt

6. Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Ruderkraftmessungen bei Voraussfahrt sind in dimensionsloser Form in Bild 5 ÷ 8, die aus den Rückwärtsfahrten ermittelten Kräfte und Momente als Prozentzahl zu den entsprechenden Voraussfahrtwerten in Bild 9 ÷ 12 über dem Ruderwinkel aufgetragen.

6.1 Normalruder freifahrend im Propeller-Düsenstrahl, Voraussfahrt

Bei der Betrachtung der Ergebnisse (Bild 5 u. 6) zeigt sich, daß im erfaßten Ruderlagenbereich keine wesentlichen Merkmale wie z. B. plötzliches Abfallen der Auftriebswerte oder Auswandern des Druckpunktes bzw. starkes Ansteigen der Widerstandsbeiwerte vorhanden sind, die auf eine Änderung der Strömungsverhältnisse mit größer werdender Ruderanstellung oder bei höheren Anströmgeschwindigkeiten hinweisen. Die nahezu linear ansteigenden C_L -Kurven, die lediglich steuerbordseitig bei großen Ruderlagen eine allmähliche Verminderung der Auftriebsgradienten $\Delta C_L / \Delta \delta_R$ erkennen lassen (Einfluß der Propellerdrehrichtung), sind Anzeichen dafür, daß gleichbleibende Strömungsverhältnisse vorliegen.

Bei den C_N -Kurven erfolgt je nach Fortschrittsziffer, ab $\delta_R \geq 25^\circ$ backbord- und steuerbordseitig, eine Verringerung der Momente um die Hochachse. Im Bereich

20° Bb. ÷ 10° Stb. sind die C_N -Beiwerte bei allen Fortschrittsziffern annähernd gleich groß. Angemerkt werden soll an dieser Stelle noch, daß während der Versuche der Abstand HK-Düse ÷ VK-Ruderprofil 5 mm betrug.

6.2 Normalruder am Modell im Propeller-Düsenstrahl, Voraussfahrt

Die bisher bei allen Ruderuntersuchungen festgestellte Abhängigkeit der Ruderkräfte von der Propelleranströmgeschwindigkeit tritt bei dieser Versuchsserie sowohl bei den Auftriebskräften als auch den Widerstandskräften bei Backbord- und Steuerbord-Ruderlage $\delta_R < 25^\circ$ nur schwach in Erscheinung (Bild 7 u. 8). Erst im Ruderwinkelbereich $\delta_R > 25^\circ$ Bb. und Stb. lassen sich geschwindigkeitsbedingte Einflüsse feststellen, die vermutlich auf einen hohen Nachstrom zurückzuführen sind.

Es zeigt sich, daß trotz vorhandener Düse der Schiffskörper einen wesentlichen Einfluß ausübt, so daß nicht nur über den Propeller-Düsenstrahl, sondern auch durch die Randströmung auf die Ruderkräfte eingewirkt wird. Entgegen allen bisher gemachten Erfahrungen liegen die Auftriebsbeiwerte der am Modell angebrachten Ruder, obwohl die Propelleranströmgeschwindigkeit um den Nachstrom verringert ist, über den Werten der freifahrenden Ruder. Entscheidend hierfür scheint in erster Linie der Tunneleinfluß zu sein, wobei auch die gute Anpassung der Ruder an den Schiffskörper nicht ohne Wirkung bleibt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß beim vorliegenden Versuchszustand weniger die Propelleranströmgeschwindigkeit als vielmehr die Düsenwirkung in Verbindung mit dem Schiffskörper die Größe der Auftriebskräfte beeinflusst.

6.3 Normalruder freifahrend und am Modell, Propeller in Düse, Rückwärtsfahrt

Auffallend ist bei diesen Ergebnissen (Bild 9—12), daß Widerstandskräfte auftreten, die erheblich über den Werten liegen, die bei Voraussfahrt gemessen wurden. Ausschlaggebend für die großen Werte ist bei kleinen Ruderwinkeln die Ruderprofilform, bei stärkerer Ruderanstellung der Propellersog, der an der Ruderrückseite (Seite zum Propeller) ein Unterdruckfeld aufbaut.

Die Auftriebswerte liegen überwiegend zwischen 50 % und 100 % von denen der Voraussfahrt. Bei Ruderwinkeln $\delta_R < 15^\circ$ Bb. und Stb. sind zwar Kräfte dargestellt, die größer als die der Voraussfahrt sind, es muß aber berück-

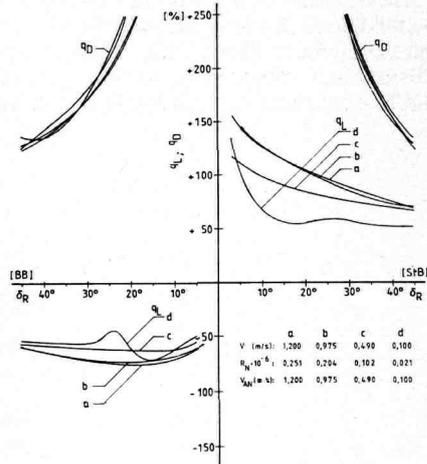
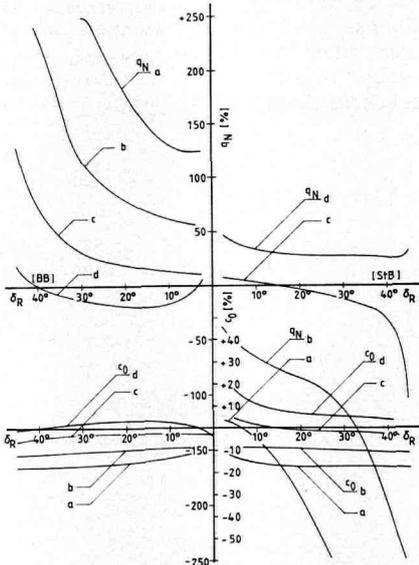
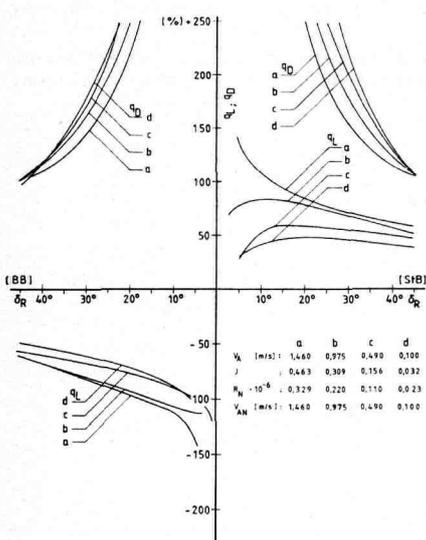


Bild 9 Normalruder — freifahrend im Propeller-Düsenstrahl bei Rückwärtsfahrt

Bild 10 Normalruder — freifahrend im Propeller-Düsenstrahl bei Rückwärtsfahrt

Bild 11 Normalruder am Modell im Propeller-Düsenstrahl bei Rückwärtsfahrt

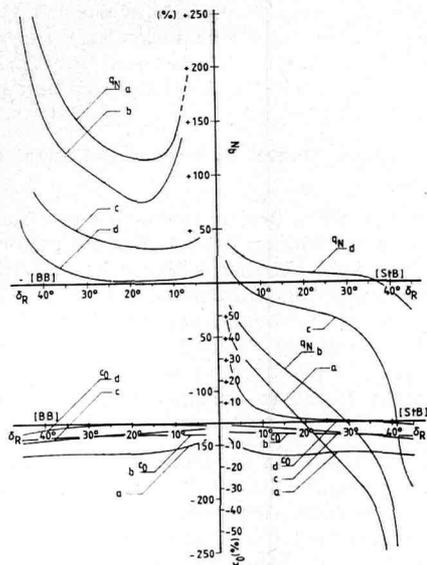


Bild 12 Normalruder am Modell im Propeller-Düsenstrahl bei Rückwärtsfahrt

sichtigt werden, daß bei den kleinen Meßwerten die Genauigkeitsgrenze erreicht wird. Bei der Betrachtung der q_N -Werte zeigt sich, daß bei Rückwärtsfahrt am Normalruder die Maximalwerte auftreten.

Es muß an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen werden, daß es sich bei den q_L -, q_D - und q_N -Werten lediglich um Verhältniszahlen handelt, die eine Aussage über die Wirksamkeit des Ruders für Rückwärtsfahrt nur bedingt zulassen.

7. Zusammenfassung

Die Analyse der Ergebnisse des Versuchsprogrammes hat ergeben, daß die Auslegung eines Ruders nach festgelegten Einzelkriterien nicht richtig sein muß. Die starke Abhängigkeit der am Ruder angreifenden Kräfte von der Propelleranströmgeschwindigkeit ist nicht allein ausschlaggebend für die auftretenden Kräfte und Momente am Ruder. So zeigen die Ergebnisse der Versuchsserie mit dem System „Propeller in Düse am Modell“ bei Vorfahrt nur einen geringen Einfluß der Anströmgeschwindigkeit.

Es kann davon ausgegangen werden, daß jeder Ruderentwurf individuell behandelt werden muß, wobei das Ruder sowohl als Einzelobjekt wie auch, und dies ist der entscheidende Zustand, als Gesamtsystem „Schiff, Propeller/Düse, Ruder“ zu betrachten ist. Ebenso sind bei der Dimensionierung der Ruderanlage, vor allem beim Zusammenwirken mit einem ummantelten Propeller, die Bedingungen bei Rückwärtsfahrt zu berücksichtigen.

8. Symbole

Ruder :

A_R	Ruderfläche
c	Ruderslänge (Profillänge)
$c_D = \frac{D}{\varrho / 2 \cdot V_{AB}^2 \cdot A_R}$	Längskraftbeiwert
$c_L = \frac{L}{\varrho / 2 \cdot V_{AB}^2 \cdot A_R}$	Querkraftbeiwert
$c_N = \frac{N}{\varrho / 2 \cdot V_{AB}^2 \cdot A_R \cdot c}$	Momentenbeiwert
$c_0 = \frac{N}{L \cdot \cos \delta_R - D \cdot \sin \delta_R} \cdot \frac{100}{c}$	

Lage des Druckpunktes in % von c , bezogen auf die Ruderdrehachse

D	Ruderwiderstand
h	Ruderhöhe
L	Ruderauftrieb
N	Rudermoment bez. auf Mitte Ruderschaft
$q_D = \frac{D_{\text{rückw.}} \cdot 100}{D_{\text{vor}}}$	Ruderwiderstand-Verhältnis rückwärts/voraus
$q_L = \frac{L_{\text{rückw.}} \cdot 100}{L_{\text{vor}}}$	Ruderauftrieb-Verhältnis rückwärts/voraus
$q_N = \frac{N_{\text{rückw.}} \cdot 100}{N_{\text{vor}}}$	Rudermomenten-Verhältnis rückwärts/voraus
$R_n = \frac{V_{AB} \cdot c}{\nu}$	Reynoldszahl
t	Ruderdicke
V	Schleppwagengeschwindigkeit
δ	Ruderwinkel, Anstellwinkel
ν	kinematische Zähigkeit des Wassers
ϱ	Dichte des Wassers

Propeller :

$V_A = V(1-w)$	Anströmgeschwindigkeit des Propellers
V_{AB}	Abströmgeschwindigkeit des Propellers
V_{AN}	Anströmgeschwindigkeit des Ruders

9. Schrifttum

- [1] Kwik, K. H.: Systematische Windkanalversuche mit Schiffsrudern. Schiffstechnik Bd. 19 (1971), Heft 92.
- [2] Thieme, H.: Zur Formgebung von Schiffsrudern. STG-Jahrbuch 1962, Seite 381–422.
- [3] Müller, E.; Landgraf, J.: Kraft- und Momentenmessungen an Schweberrudern in Modell- und Großausführung; Teil I Modellversuche. 169. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau, Duisburg.
- [4] Landgraf, J.: Untersuchung des Schiffskörpereinflusses auf die Ruderkräfte und -momente. VBD-Bericht Nr. 710 (unveröffentlicht).