

Ermittlung der Längs- und Querkräfte sowie der am Hauptruder- und Flossenschaft auftretenden Momente bei Flossenrudern*)

1. Einleitung

Aus Gründen der Verkehrssicherheit bei ständig zunehmender Verkehrsdichte auf den Wasserstraßen werden heute erhöhte Anforderungen an die Steuerfähigkeit von Schiffen und Schiffsverbänden gestellt. Diese Entwicklung sowie das Bestreben, die Schiffseinheiten auch unter erschwerten Bedingungen, wie z. B. bei langsamer Fahrt in engen Gewässern, aus eigener Kraft und solange wie möglich ohne zusätzliche Steuerhilfen voll manövrierfähig zu erhalten, lassen den zweiteiligen Flossenrudern eine erhebliche Bedeutung zukommen, weil diese unter den statisch wirkenden herkömmlichen Steuerorganen vergleichsweise höhere Querkräfte liefern. Zur Erzeugung hoher Querkräfte nutzen diese den aus der Luftfahrt bekannten Hochauftriebseffekt, der bis zu gewissen Grenzen dann auftritt, wenn die Profilwölbung des Tragflügels vergrößert wird.

Flossenruder liegen bisher als patentierte Ausführungen, wie das Becker-Ruder [1, 2, 3] oder das BCP/Lumley-Ruder [4] und das vor etwa zwei Jahren eingeführte Jastram-Flossenruder [5], vor. Bei den beiden erstgenannten Ausführungen wird die an das Ruderblatt angehängte Flosse über eine Anlenkung, die unterhalb der Schwimmwasserlinie am Ruderschaft befestigt ist, zwangsweise gesteuert in der Art, daß beim Anlegen des Ruders die Flosse um annähernd den doppelten Anstellwinkel des Hauptblattes gedreht wird. Hierbei ist die Winkelübersetzung der Flosse im ganzen Ruderwinkelbereich nahezu konstant.

Ausgehend von einer solchen Anordnung, beschränkten sich die bisherigen Untersuchungen mit Flossenrudern meistens auf die Ermittlung der summarischen Gesamtkräfte und Momente am Hauptruderschaft. Zur Berechnung und Dimensionierung der Einzelteile, besonders wenn die Flossensteuerung unabhängig vom Hauptruder gehalten werden soll, reichen diese jedoch nicht aus.

Eine getrennte Steuerung der Flosse, wie sie in der letzten Zeit in Betracht gezogen worden ist, bietet in vielen Fällen den Vorteil, daß das Flossenruder an den jeweiligen Fahrt- oder Betriebszustand des Schiffes optimal angepaßt werden kann. So kann der Flossenwinkel zur Stärkung der Ruderwirkung im Bedarfsfall, d. h. bei kleinen Ruderwinkeln bzw. Schiffsgeschwindigkeiten vergrößert und umgekehrt bei höheren Fahrtstufen zur Verminderung des Widerstandes und der Gierschwingungen verkleinert werden. Diesbezügliche Einzelheiten sind z. B. auch in [5] im Zusammenhang mit dem dort vorgestellten Ruder ausführlich beschrieben und werden hier nicht wiederholt.

In der vorliegenden Arbeit sind als Ergänzung zu den bisherigen Untersuchungen die auf dem Ruder und auf der Flosse im Schraubenstrahl, d. h. unter Arbeitsbedingungen auftretenden Kräfte und Momente am Beispiel eines Ruders mit HSVA-Mischprofil modellmäßig gemessen worden und werden in Abhängigkeit von den untersuchten Parametern wiedergegeben.

2. Versuchsübersicht

Als Ausgangsruder diente, wie eingangs bereits erwähnt, ein aus den bekannten Ruderprofilserien ausgewähltes

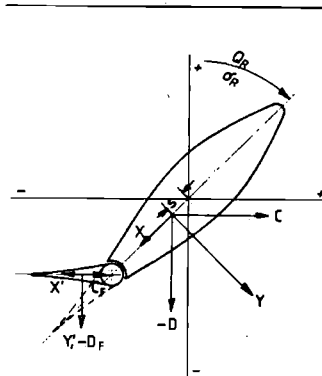
*) Gekürzte Fassung des VED-Berichtes Nr. 954

Die Mittel zur Durchführung dieser Untersuchung stellte in dankenswerter Weise die Deutsche Forschungsgemeinschaft zur Verfügung.

194. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Duisburg, Delft
Institut an der RWTH Aachen

Dipl.-Ing. G. Luthra

Ruder mit HSVA-Mischprofil. Dieses Profil mit hohlen Hinterflanken und schlankgehaltener Profilnase besitzt seine größte Dicke auf 45 % der Profillänge. Sein Dickenverhältnis von $t/c = 0,20$ liegt im Bereich der normalerweise verwendeten Werte. Die Form und Profilaufmaße des Ruders sind in der Aufmaßtabelle angegeben.



| x/c | y/c |
|--------|--------|
| 0,0125 | 0,0230 |
| 0,0250 | 0,0306 |
| 0,0500 | 0,0419 |
| 0,1000 | 0,0583 |
| 0,1500 | 0,0706 |
| 0,2000 | 0,0801 |
| 0,2500 | 0,0881 |
| 0,3000 | 0,0939 |
| 0,4000 | 0,0994 |
| 0,4500 | 0,1000 |
| 0,5000 | 0,0965 |
| 0,6000 | 0,0766 |
| 0,7000 | 0,0546 |
| 0,8000 | 0,0335 |
| 0,9000 | 0,0145 |
| 1,0000 | 0,0054 |

Kräftedefinitionen

- C; C_F = Ruder- bzw. Flossenquerkraft positiv nach rechts
- D; D_F = Ruder- bzw. Flossenwiderstand
- Y; Y' = Ruder- bzw. Flossenormalkraft
- X; X' = Ruder- bzw. Flossentangentalkraft
- Q_R ; Q_{RF} = Ruder- bzw. Flossenschaftmoment (Nm); rechtsdrehend positiv
- S = Lage des Momentennullpunktes (% von c); negativ wenn nach hinten gerichtet

Aufmaßtabelle: Form und Aufmaße des Ruders

Das ausgewählte Profil wurde als Flossenruder untersucht, wobei die Flossenlänge im Verhältnis zur Profillänge wie folgt variiert:

- Variante I: $c_F = 25\%$ von c
- Variante II: $c_F = 15\%$ von c

In beiden Fällen erfolgte die Untersuchung mit dem Ruder im Propellerstrahl. Hierbei ist ein Propeller der Wageningen Serie B 4.55 benutzt worden:

| | |
|---------------------|------------------|
| Durchmesser | D = 0,18 m |
| Steigungsverhältnis | P/D = 0,8 |
| Flächenverhältnis | $A_E/A_0 = 0,55$ |

Der Abstand von Mitte Hauptruderschaft bis zur Erzeugenden des Propellers S_A betrug $135 \text{ mm} = 3/4 D$. Sowohl die Propellerdaten als auch der Abstand S_A entsprechen den Werten, die bei einer vorangegangenen Ruderuntersuchung in der VBD verwendet wurden [6], wodurch die Ergebnisse unter sich verglichen werden können. Dort wurden drei Ruderprofile, nämlich

| | |
|------|----------|
| NACA | 0025 |
| JFS | 63 TR 25 |
| JFS | 58 TR 15 |

unter ähnlichen Bedingungen, jedoch mit Propellerdrehzahl $n = 1000 \text{ U/min}$ untersucht. Dagegen ist die vorliegende Untersuchung überwiegend mit $n = 750 \text{ U/min}$ durchgeführt worden, weil Überschlagsrechnungen zeigten, daß bei höheren Drehzahlen die an Variante I zu mes-

senden Kräfte für die in der VBD vorhandene kleine Sechs-Komponenten-Waage zu groß werden. Um den Vergleich dennoch zu ermöglichen, wurde die Variante II zusätzlich mit $n = 1000$ U/min untersucht.

Die Meßruder bestehen aus Kunststoff, die hinsichtlich der Profilform äußerst genau bearbeitet wurden. Die Ruderabmessungen betragen:

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| Ruderhöhe | $h = 0,20$ m |
| Profiltiefe | $c = 0,20$ m |
| Ruderfläche | $A_R = 0,04$ m ² |
| Mitte Hauptruderschaft | $O_R = 0,082$ m von vorne |

| | | | |
|-------------------------------|-------|---------------------|----------------------|
| | | Variante I | Variante II |
| Profiltiefe der Flosse | c_F | 0,05 m | 0,03 m |
| Flossenfläche | A_F | 0,01 m ² | 0,006 m ² |
| Mitte Flossenschaft von vorne | O_F | 0,15 m | 0,17 m |

3. Versuchstechnik

Zur Messung der Gesamtkräfte am Hauptruderschaft ist die in der VBD vorhandene Sechs-Komponenten-Meßplattform nach entsprechender Erweiterung und Anpassung zur Aufnahme einer zweiten, kleineren und in der VBD ebenfalls vorhandenen Sechskomponenten-Meßwaage, mit der eine getrennte Messung der Flossenkräfte vorgenommen wurde, benutzt worden. Die zweite Meßwaage war so angebracht, daß die Flossenkräfte von hier aus auf den Hauptruderschaft übertragen und dort nochmals summarisch mit den Kräften vom übrigen Ruderblatt als Gesamtkraftkomponenten erfaßt wurden.

Bei den beiden Versuchsvarianten sind folgende Parameter untersucht worden:

- Hauptrudewinkel δ_R**
Es wurden Ruderwinkel von 0 bis 45° untersucht. Die Schrittgröße des Ruderlegens betrug 5°.
- Flossenwinkel δ_F**
Der relative Winkel zwischen Ruder und Flosse wurde bei jeder Ruderwinkelstellung gemäß a) zusätzlich von 0 bis 45° in Richtung des Hauptruders variiert. Die Schrittgröße betrug ebenfalls 5°.
- Propellerfortschrittsziffer J**
Es sind jeweils insgesamt 4 bzw. 5 Fortschrittsziffern einschli. $J = 0$ gefahren worden, wobei die Propellerdrehzahl konstant gehalten und die Anströmgeschwindigkeit variiert wurde. Mit Variante II wurde darüberhinaus eine zweite Drehzahlstufe bei einigen ausgewählten Ruderwinkelstellungen untersucht.

Die folgende Tabelle gibt eine Zusammenstellung der gefahrenen Versuche:

| V_{Wagen} [m/s] | Variante I $n = 750$ U/min | | | Variante II $n = 750$ U/min $n = 1000$ U/min | | | |
|----------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|---|-----------------------------|-------------------|---------------------------|
| | J | V_{Ab} [m/s] | $Rn \cdot 10^{-6} J$ [—] | V_{Ab} [m/s] | $Rn \cdot 10^{-6} J$ [—] | V_{Ab} [m/s] | $Rn \cdot 10^{-6}$ [—] |
| 0 | 0 | 1,958 | 0,367 | 0 | 1,958 | 0,353 | 0 |
| 0,24 | | 0,107 | 1,900 | 0,356 | — | — | — |
| 0,48 | | 0,213 | 1,851 | 0,347 | 0,213 | 1,851 | 0,334 |
| 0,96 | | 0,427 | 1,798 | 0,337 | 0,427 | 1,798 | 0,324 |
| 1,44 | | 0,640 | 1,813 | 0,340 | 0,640 | 1,813 | 0,327 |

Die Registrierung der Meßdaten auf Lochstreifen erfolgte mittels EDE-Anlage der VBD. Zum direkten Vergleich mit anderen veröffentlichten Rudermeßreihen sind die Meßwerte getrennt für das Gesamtruder und für die Flosse in dimensionslose Koeffizienten umgerechnet worden. Für die Umrechnung ist die Propellerabstromgeschwindigkeit V_{Ab} am Ort des Ruders benutzt worden. Da diese meßtechnisch nur äußerst schwer zu erfassen ist, wurde sie annäherungsweise über Strahlzusatzgeschwindigkeit mit entsprechenden Korrekturen für den Abstand zwischen Propeller und Ruderschaft S_A nach Gutsche [7] errechnet. Da die Korrektur Km über dem Propelleradius R veränderlich ist, wurde der für 0,7 R gültige Wert als

Mittelwert benutzt. Die korrigierte Abströmgeschwindigkeit ergibt sich somit wie folgt:

$$V_{Ab} = V_A [1 + Km (-1 + \sqrt{1 + C_{Th}})] \quad [m/s]$$

wobei V_A = Anströmgeschwindigkeit (= V_{Wagen})

C_{Th} = Schubbelastungsgrad des Propellers.

In der Tabelle sind die so errechneten Werte der Abströmgeschwindigkeiten mit aufgeführt.

4. Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Versuche mit Variante I sind hier aus Platzgründen jeweils nur für zwei Fortschrittsziffern in den Bildern 1 und 2 getrennt für das Gesamtrudersystem und in den Bildern 3 und 4 für die Flosse in grafischer Form dargestellt. Entsprechende Werte für Variante II sind in den Bildern 5, 6 und 9 (Gesamtsystem bei $n = 750$ bzw. 1000 U/min) sowie in den Bildern 7, 8 und 10 (Flosse) wiedergegeben. Aufgetragen sind über dem Ruderwinkel δ_R die in üblicher Form dimensionslos gemachten

- Querkraftbeiwerte $C_{CGesamt}$ und $C_{CFlosse}$
- Widerstandsbeiwerte $C_{DGesamt}$ und $C_{DFlosse}$
- Momentenbeiwerte $C_{QGesamt}$ und $C_{QFlosse}$ bezogen auf den jeweiligen Drehpunkt
- Lage des Druckpunktes S_S der Flosse in % von der Profiltiefe bezogen auf den Flossendrehpunkt.

Die durchgezogenen Linien geben jeweils die Werte bei einem konstanten Relativ-Winkel zwischen Hauptruder und Flosse von 0°; 10°; 20°; und 30° bzw. 40° an. Sie sind mit Ziffern von 1—5 bezeichnet. Der relative Flossenwinkel $\delta_F = 0$ oder die Kurve „a“ bzw. „1“ kennzeichnet das normale Einflächentruder. Die gestrichelten Linien zeigen die Werte für den Zustand, bei dem die Flosse jeweils in einer konstanten Winkelübersetzung von 0,5 bis zum 3fachen des Ruderwinkels δ_R gegenüber dem Hauptruder zusätzlich noch gelegt ist. So bedeutet z. B. die Kurve „b“ bzw. „c“ bei einer Winkelübersetzung von 1:1, daß bei Ruderwinkel $\delta_R = 10^\circ$ die Flosse relativ zum Hauptruder um weitere 10° oder insgesamt 20°, bei $\delta_R = 20^\circ$ um weitere 20° oder insgesamt 40° usw. gelegt ist.

Aus der Auftragung der Querkraftbeiwerte ist ersichtlich, daß bei Betrachtung des Systems als Einflächentruder (Kurve „a“ bzw. „1“) die maximale Ruderquerkraft im Stand, d. h. mit $J = 0$ bei einem Anstellwinkel von etwa 33° erreicht wird. Mit zunehmender Fortschrittsziffer steigt der Querkraftbeiwert und wird bei $J = 0,427$ von etwa $C_Q = 0,3$ um das 2,5fache auf $C_Q = 0,75$ vergrößert. Zugleich ist eine geringfügige Verschiebung des zugehörigen Anstellwinkels zu kleineren Werten festzustellen. Dieses Verhalten der Querkraftbeiwerte in Abhängigkeit von der Fortschrittsziffer J stimmt mit den bisherigen Feststellungen überein und ist zum Teil dadurch zu erklären, daß mit fallendem J die tangentialen Anteile des Propellerabstroms und damit die Schräganströmung des Ruders anwachsen und zur Abnahme der Querkraftbeiwerte führen [6 und 8].

Wird die Flosse gegenüber dem Hauptruder zusätzlich gelegt, so läßt sich der jeweilige maximale Querkraftbeiwert des als Einflächentruder gekennzeichneten Systems in Abhängigkeit von der Flossengröße und δ_F , bei wesentlich kleineren Ruderanstellwinkeln unter gleichzeitiger Verringerung des Widerstands erreichen. Bei einem Relativ-Winkel δ_F von 30° wird dieser Querkraftbeiwert für die Flosse I (Fläche = 25% von Ruderfläche) bereits mit Ruderanstellwinkeln von 10° bis 14° erzielt. Für die kleinere Flosse II (15%) beträgt der entsprechende Ruderanstellwinkel etwa 20°.

Wird die Flosse jeweils um einen festen Winkelbetrag gegenüber dem Hauptruder gelegt, so zeigen die Quer-

Gesamtrudersystem

Kräfte und Momente im Propellerabstrom

$J=0$
 $n=750$ UPM

Variante I

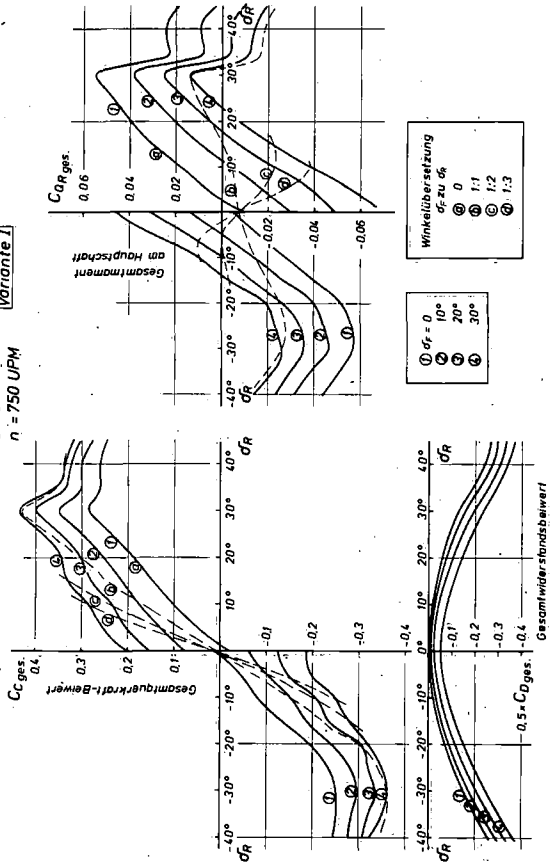


Bild 1

Gesamtrudersystem

Kräfte und Schafmomente im Propellerabstrom

$J=0.427$
 $n=750$ UPM

Variante I

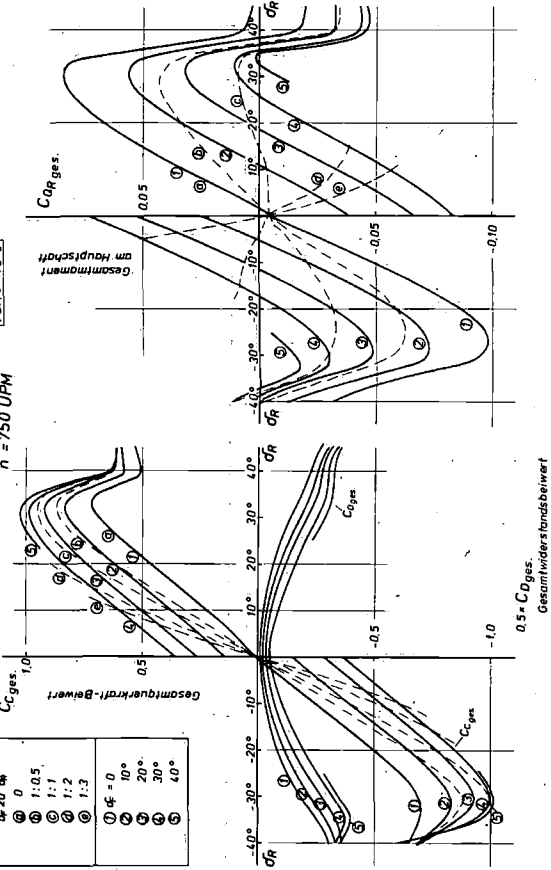


Bild 2

Flossenkräfte und Momente im Propellerabstrom

$J=0$
 $n=750$ UPM

Variante I

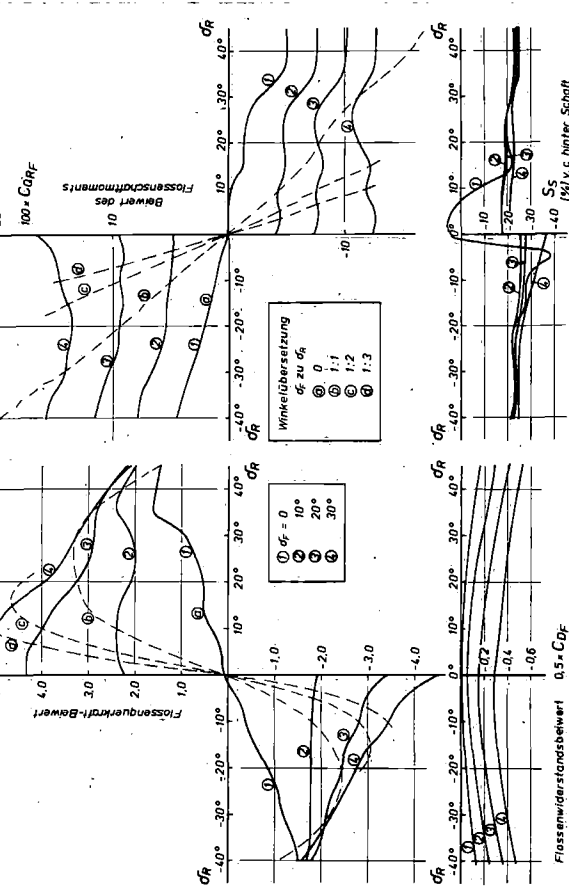


Bild 3

Flossenkräfte und Momente im Propellerabstrom

$J=0.427$
 $n=750$ UPM

Variante I

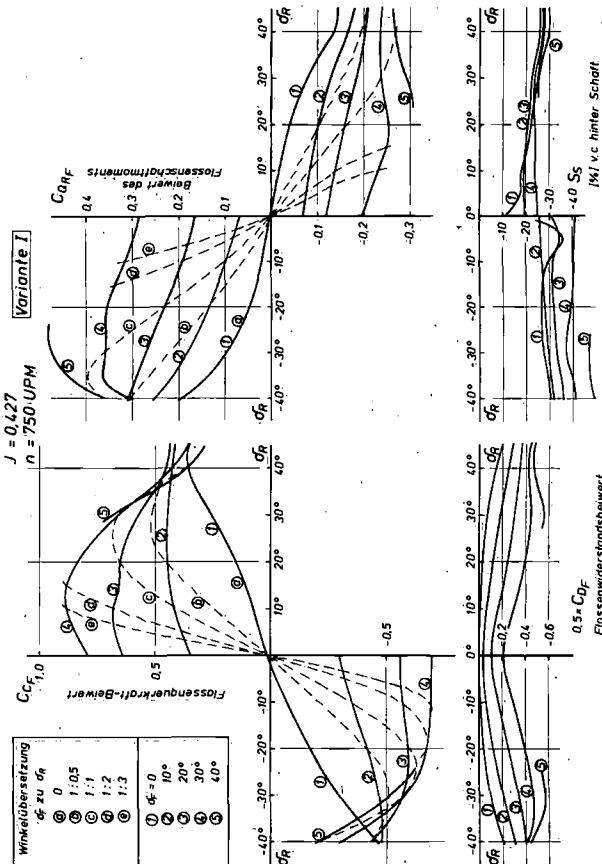


Bild 4

Gesamtrudersystem

Kräfte und Schafmomente im Propellerabstrom

$J=0$
 $n=750$ UPM

Variante II

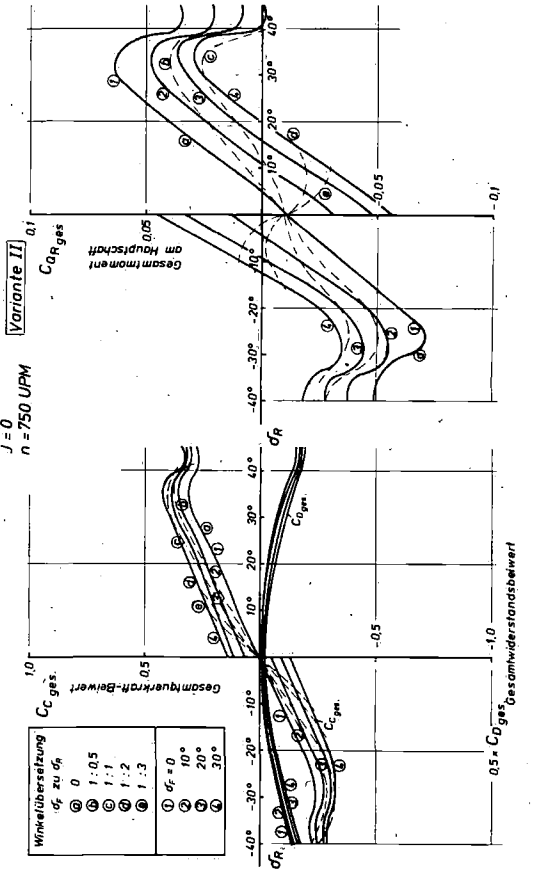


Bild 5

Gesamtrudersystem

Kräfte und Schafmomente im Propellerabstrom

$J=0.427$
 $n=750$ UPM

Variante II

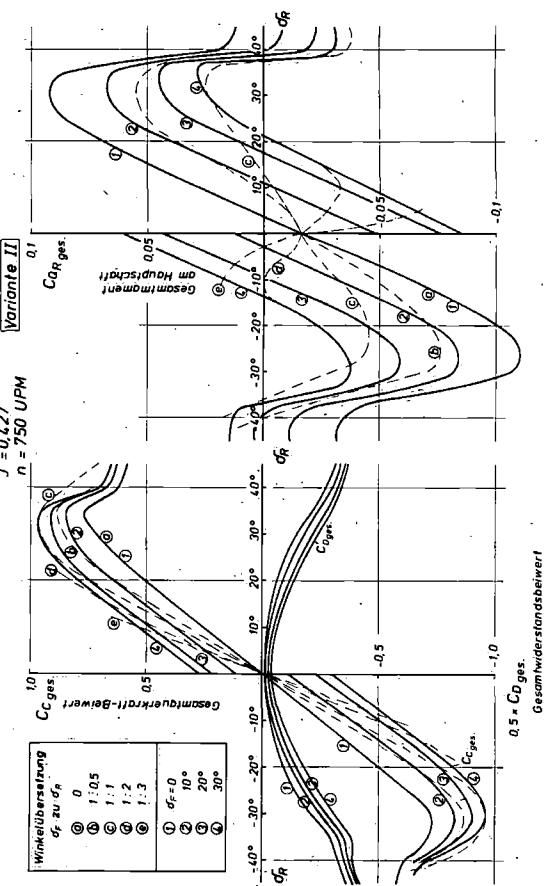


Bild 6

Flossenkräfte und Momente im Propellerabstrom

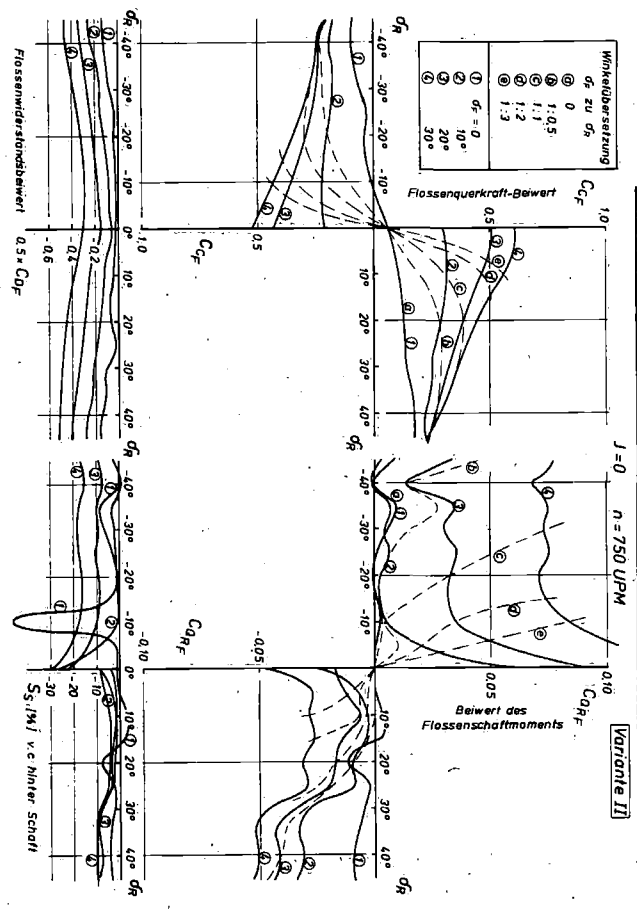


Bild 7

Gesamtrudersystem

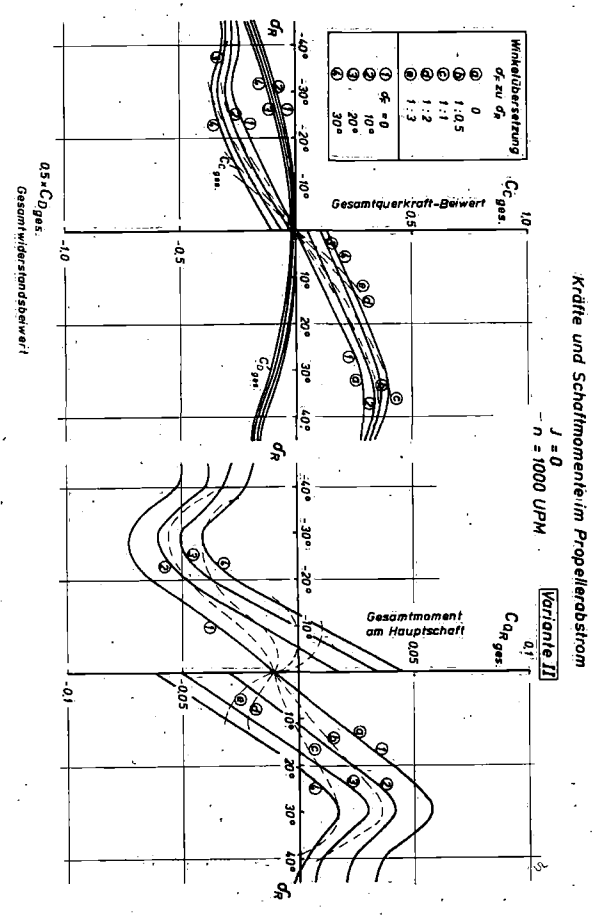


Bild 9

Flossenkräfte und Momente im Propellerabstrom

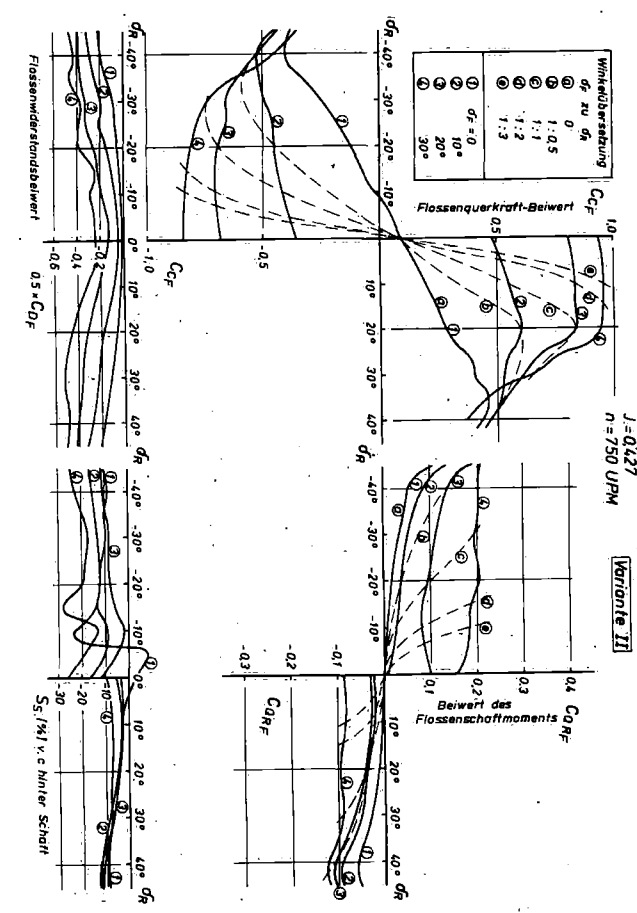


Bild 8

Flossenkräfte und Momente im Propellerabstrom

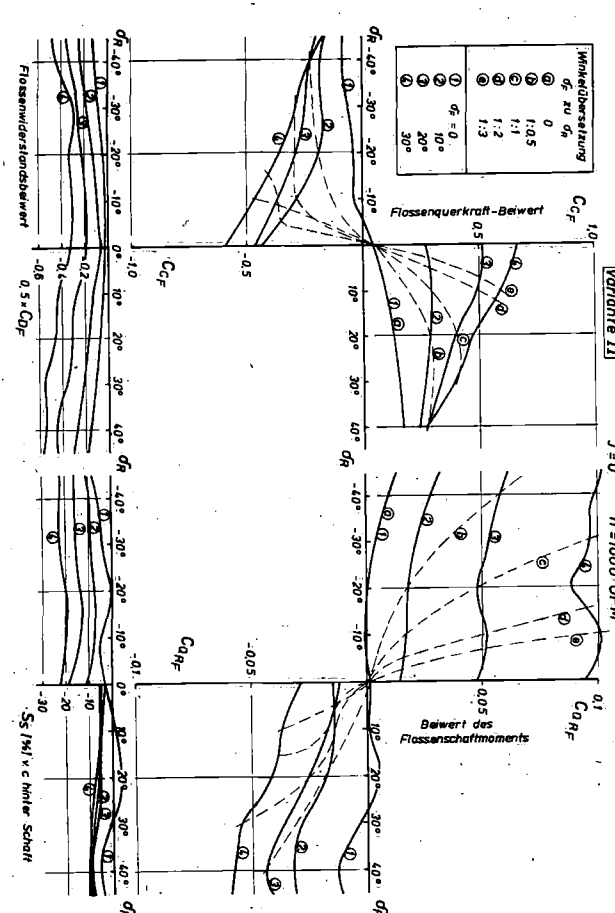


Bild 10

kraftbeiwert-Kurven eine weitgehende parallele Verschiebung zu höheren Werten. Bei $\delta_F = 30^\circ$ wird die Querkraft im Maximum gegenüber dem Einflächenruder um den Faktor von 1,4 bis 1,5 für die Variante I und um 1,3 bis 1,4 für die Variante II vergrößert. Die kleineren Werte sind den höheren Fortschrittsziffern zugeordnet. Demnach trägt die Verbesserung der maximalen Querkraft gegenüber der Einflächenvariante je nach Fortschrittsziffer und Flossengröße im vorliegenden Fall ca. 30 bis 50 %.

Die Größe der Flosse, für sich gesehen, scheint bei $J = 0$ keinen wesentlichen Einfluß auf den erreichbaren Hochauftriebseffekt zu haben, wohl aber bei höheren Fortschrittsziffern, bei denen die größere Flosse überlegen ist. Im Gegensatz hierzu haben die Flosse selbst sowie ihre Größe naturgemäß einen erheblichen Einfluß auf die Rudermomente am Hauptruderschaft.

Das Flossenruder mit betätigter Flosse hat bei gleicher Querkraft etwa den gleichen Widerstand wie das Einflächenruder. Dies gilt auch dann, wenn die Flosse bei festgesetztem Hauptruder allein betätigt wird und die Fortschrittsziffer klein ist. Bei größeren Fortschrittsziffern zeigt das Ruder in diesem Fall jedoch einen etwas höheren Widerstand.

Wird die Flosse bei festgesetztem Hauptruder allein betätigt, ergeben sich für die beiden Flossenvarianten I und II bei 30° Flossenwinkel etwa die gleichen Querkräfte wie beim Einflächenruder mit Ruderwinkeln von 20° bzw. 15° . Dies gilt für die Fortschrittsziffer von $J = 0$. Die entsprechenden Winkel des Hauptruders für $J = 0,427$ sind kleiner und betragen etwa 15° und 11° . Für das Kurssteuern eines Schiffes bei Dienstgeschwindigkeit ist dieses in aller Regel ausreichend.

Die Kurssteuerung des Schiffes durch die Flosse allein bietet zwar einige Vorteile, wie z. B. die Möglichkeit, das Schiff feinfühlig und dosiert zu steuern und damit seine Gierbewegungen geringhalten zu können, bei Flossenwinkeln von 30° oder auch 20° können aber sehr hohe Rudermomente am Hauptruderschaft auftreten, die eine lastabhängige Steuerung der Flosse als notwendig erscheinen.

Die Ergebnisse zeigen, daß das untersuchte Profil mit vorgegebener Balancierung bei seiner Benutzung als Einflächenruder erwartungsgemäß sehr hohe, in der gleichen Richtung wie der Drehsinn des Ruders auftretende Rudermomente aufweist, die jedoch durch die gleichzeitige Betätigung der Flosse minimiert werden könnten. Diese werden im vorliegenden Fall zum Beispiel bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 1 oder $\delta_F = \delta_R$ erheblich vermindert. Geht man von den bei diesem Übersetzungsverhältnis resultierenden Maximalwerten aus, so werden sie bei alleiniger Anstellung der Flosse bereits bei Flossenwinkeln von etwa 10° (Variante I) und 15° (Variante II) erreicht.

Auf der anderen Seite ist ein solches festes Übersetzungsverhältnis oder eine Minimierung der Rudermomente nicht ohne Verzicht auf Vollaussnutzung der Vorteile hinsichtlich der Querkraft zu verwirklichen. Aufschluß hierüber geben auch die Abbildungen, in denen jeweils die Querkraftbeiwerte der Flosse getrennt wiedergegeben sind. Diese lassen erkennen, daß die querkraftmäßige Wirksamkeit der Flosse in Nulllage des Hauptruders über einen größeren Flossenwinkelbereich erhalten bleibt als dies bei gelegtem Hauptruder der Fall ist. Bei relativen Flossenwinkeln, die für $J = 0$ größer sind als 10° und für $J = 0,427$ größer sind als etwa 20° , nimmt ihre Querkraft mit zunehmender Hauptruderanstellung ab. Es zeichnet sich im jeweiligen Zustand, der eine konstante Winkelübersetzung der Flosse gegenüber dem Hauptruder darstellt (gestrichelte Kurven), eine Maximumbildung ab, die sich um so mehr zu kleineren Übersetzungsverhältnissen verlagert, je größer die Hauptruderanstellung ist. Demnach und um einen steilen Anstieg der Querkraftbeiwerte zu erzielen,

scheint es besser zu sein, daß anfangs ein höheres Übersetzungsverhältnis gewählt, dieses bzw. die Flosse aber dann mit größer werdendem Hauptruderkwinkel zurückgenommen wird. Die anfängliche Anstellung bzw. Übersetzung der Flosse sowie ihre Rücknahme mit steigenden Hauptruderkwinkeln läßt sich mit einer lastabhängigen Steuerung durch Vorgabe eines aus den Momentenbeiwertkurven entnommenen Höchstwertes regeln.

Der Anstieg der Querkraftbeiwerte, ausgedrückt als Zunahme des Beiwertes pro Grad Hauptruderkwinkeländerung in Abhängigkeit von Flossenwinkelübersetzung, wird nachfolgend für beide Varianten und zwei Fortschrittsziffern in Tabellenform dargestellt:

| Winkel- übersetzung δ_F zu δ_R | Variante I | | Variante II | |
|--|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | $J = 0$ C_C / δ_R | $J = 0,427$ C_C / δ_R | $J = 0$ C_C / δ_R | $J = 0,427$ C_C / δ_R |
| 0 | $0,97 \cdot 10^{-2}$ | $0,93 \cdot 10^{-2}$ | $1,25 \cdot 10^{-2}$ | $1,25 \cdot 10^{-2}$ |
| 1 : 1 | $1,60 \cdot 10^{-2}$ | $1,43 \cdot 10^{-2}$ | $1,96 \cdot 10^{-2}$ | $1,88 \cdot 10^{-2}$ |
| 1 : 2 | $2,36 \cdot 10^{-2}$ | $1,88 \cdot 10^{-2}$ | $2,61 \cdot 10^{-2}$ | $2,36 \cdot 10^{-2}$ |
| 1 : 3 | $2,90 \cdot 10^{-2}$ | $2,36 \cdot 10^{-2}$ | $3,27 \cdot 10^{-2}$ | $2,75 \cdot 10^{-2}$ |

Die Bilder 9 und 10 geben die Ergebnisse der Messungen an Variante II bei erhöhter Propellerdrehzahl aber vergleichbaren Fortschrittsgeschwindigkeiten wieder und erlauben, den Drehzahleinfluß aus der Gegenüberstellung von diesen und den Bildern 5—8 festzustellen. Dieser Einfluß scheint gering zu sein. Die Beiwerte, insbesondere der Rudermomente, sind bei hoher Drehzahl etwas größer. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß mit der Drehzahl auch die Abströmgeschwindigkeit höher liegt.

Der Vergleich zu drei weiteren Profilen, die unter gleichen Bedingungen untersucht wurden und in [6] beschrieben sind, zeigt, daß das hier untersuchte Profil als Einflächenruder fast gleiche maximale Querkraftbeiwerte C_C aufweist wie die Profile JfS 63 TR 25 und NACA 0025. Die Querkraftgradienten C_C / δ_R sind im vorliegenden Fall steiler und bedeuten, daß der Umschlag der Strömung am Ruder hier bereits etwas früher, d. h. bei etwas kleineren Ruderwinkeln einsetzt. Dieses sowie die maximalen Querkräfte und Rudermomente, die bei dem hier untersuchten Profil verständlicherweise wesentlich höher liegen, lassen sich durch die Flosse vorteilhaft beeinflussen.

5. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit Untersuchungen an einem Flossenruder mit HSVA-Mischprofil. Im einzelnen sind an zwei Varianten mit unterschiedlichen Flossenlängen die am Ruder und an der Flosse im Schraubenstrahl bei schrittweise veränderter Ruder- und Flossenanstellung auftretenden Kräfte und Momente modellmäßig gemessen worden. Die Messungen wurden für mehrere Fortschrittsziffern, die bei beiden Varianten durch Änderung der Freifahrtgeschwindigkeit und bei einer Variante zusätzlich durch Änderung der Propellerdrehzahl eingestellt wurden, vorgenommen.

Die Meßwerte sind mit einer Datenerfassungsanlage aufgenommen worden. Diese, und die in Beiwerten umgerechneten Ergebnisse liegen als Datenlisten vor. Sie werden hier in Diagrammform wiedergegeben und ergänzen die für den Entwurf und die Berechnung der Flossenruder benötigten Unterlagen.

Nachfolgend werden die Ergebnisse zusammengefaßt:

Die Querkraftbeiwerte des Systems sowohl als Einflächenruder als auch als Flossenruder nehmen mit steigender Fortschrittsziffer zu.

Die Querkraftbeiwerte werden durch die Flosse am Ruder erstens in ihrem Anstieg und zweitens im Maximum bedeutend verbessert. Die Verbesserung gegenüber der Einflächenvariante im vorliegenden Fall beträgt zwischen 30 und 50 %; die Größe der Flosse in den hier untersuchten

Varianten bei $J = 0$ hat keinen wesentlichen Einfluß auf den erreichbaren Hochauftriebseffekt, wohl aber auf das Rudermoment.

Die an der Flosse im System vorgenommenen Messungen zeigen, daß die Flossenquerkraft bei größeren Relativ-Winkeln zwischen Flosse und Hauptblatt mit steigendem Hauptruderwinkel abnimmt. Die Wirksamkeit der Flosse läßt sich noch vorteilhafter nutzen, wenn anfangs ein höherer Relativ-Winkel zwischen Flosse und Hauptruder gewählt, dieser bzw. die Flosse aber dann mit steigendem Hauptruderwinkel zurückgenommen wird. Hierbei müssen allerdings Rudermomente beachtet werden.

6. Symbolverzeichnis

| | | |
|------------|------------------------|--|
| h | [m] | Ruderhöhe |
| $c; c_F$ | [m] | Profiltiefe des Ruders bzw. der Flosse |
| t | [m] | Ruderdicke |
| $A_R; A_F$ | [m ²] | Ruder- bzw. Flossenfläche |
| O_R | [m] | Mitte Ruderschaft von vorne |
| O_F | [m] | Mitte Flossenschaft von vorne |
| S_S | [°] | Lage des Druckpunktes der Flosse |
| δ_R | [δ°] | Ruderanstellwinkel |
| δ_F | [δ°] | Flossenwinkel bezogen auf Hauptruder |
| V_A | [m/s] | Propelleranströmgeschwindigkeit (= Schleppwagengeschwindigkeit) |
| V_{Ab} | [m/s] | Propellerabströmgeschwindigkeit aus Strahltheorie mit Korrektur nach [7] |
| n | [UPM; UPS] | Propellerdrehzahl |
| J | [—] | Fortschrittsziffer $J = V_A / (n \cdot D)$ |
| Rn | [—] | Reynolds-Zahl $Rn = (V_{Ab} \cdot c) / \nu$ |

| | | |
|--------------------------------|-----|---|
| C_{Th} | [—] | Schubbelastungsgrad $C_{Th} = T / (\rho/2 \cdot V_A^2 \cdot A_0)$ $T =$ Propellerschub $A_0 =$ Propellerdiskfläche |
| $C_{Q_{Ges}}; C_{Q_F}$ | [—] | Querkraftbeiwerte des Ruders bzw. der Flosse $C_Q = C / (\rho/2 \cdot V_{Ab}^2 \cdot A_R)$ bzw. $C_F / (\rho/2 \cdot V_{Ab}^2 \cdot A_F)$ |
| $C_{D_{Ges}}; C_{D_F}$ | [—] | Widerstandsbeiwert des Ruders bzw. der Flosse $C_D = D / (\rho/2 \cdot V_{Ab}^2 \cdot A_R)$ bzw. $D_F / (\rho/2 \cdot V_{Ab}^2 \cdot A_F)$ |
| $C_{Q_{R_{Ges}}}; C_{Q_{R_F}}$ | [—] | Momentenbeiwert am Hauptruder bzw. Flossenschaft $C_{QR} = Q_R / (\rho/2 \cdot V_{Ab}^2 \cdot A_R \cdot c)$ bzw. $Q_{RF} / (\rho/2 \cdot V_{Ab}^2 \cdot A_F \cdot C_F)$ |

7. Literaturverzeichnis

- [1] Limbach, K.: Unkonventionelle Steuerorgane — eine Übersicht. Schiff und Hafen, Heft 4/1974.
- [2] Hinze, H.: Einflächenruder „Becker“. „Hansa“, Heft 16/1965.
- [3] Buhtz, C.-P.: Becker-Ruder und Kort-Düse. „Hansa“, STG-Heft 1972.
- [4] Articulated rudders — past and present. Naval Architect, 1/1974.
- [5] Weiß, F.: Das Jastram-Flossenruder, ein neuartiges abschaltbares Hochleistungsrunder für Seeschiffe. Schiff und Hafen, Heft 4/1978.
- [6] Landgraf, J.: Verstärkung der Ruderwirkung durch den Schraubenstrahl. „Hansa“, STG-Heft 1973.
- [7] Gutsche, F.: Die Induktion der axialen Strahlzusatzgeschwindigkeiten in der Umgebung der Schraubenebene. Schiffstechnik, Bd. 3, 1957.
- [8] Romahn, Thieme: Zur Wahl der Balanceflächen von Rüdern im Propellerstrahl. Schiffstechnik, Bd. 4, 1957.