

64 | 1959

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

H. Thiemann und H. Thieme

# Windkanaluntersuchung von Rechteckplattenrudern

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

# Windkanaluntersuchung von Rechteckplattenrudern

Von H. Thiemann und H. Thieme

Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

Kraftmessungen und Strömungsuntersuchungen an Rechteckplattenrudern verschiedener Seitenverhältnisse und Profilierung sind durchgeführt worden, um die Grundlagen für das weitere Untersuchungsprogramm zu klären. Es ergibt sich, daß die untersuchten stumpfen, dünnen Platten hierfür am besten geeignet sind. Abweichende Profilierungen ergaben insbesondere in der maximalen Querkraft z. T. recht erhebliche Querkraftverluste, deren Ursache durch zahlreiche Kraftmessungen und Aufnahme von Strömungsbildern geklärt werden konnte. Die auch für weitere Versuche vorgesehene Meßtechnik mit dem kleinen Rudermeßgerät, pneumatischen Meßdosen und Druckschreibern hat sich vollauf bewährt.

- A. Einführung
- B. Modelle und Versuchseinrichtung
- C. Untersuchungsmethoden
- D. Ergebnisse
- E. Folgerungen
- F. Literatur
- G. Symbole

## A. Einführung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, für unbegrenztes Medium an Plattenrudern mit kleinen Seitenverhältnissen Kraft-

messungen auszuführen, auf deren Ergebnisse weitere Versuche aufgebaut werden können, wie z. B.

- 1) Untersuchungen mit freier Wasseroberfläche,
- 2) Ruder freifahrend mit Strahleinfluß,
- 3) Ruder im Nachstrom von Körpern und Platten und eingebaut am Schiffsmodell,
- 4) Einfluß von Profil- und Hinterkantenform.

Außerdem soll die Einwirkung des Ruderschaftes auf das Ruderblatt betrachtet werden. Die Messungen sollen weiter Aufschluß darüber geben, inwieweit noch Kennzahleinflüsse bei Platten auftreten und welche Einflüsse die verschiedenen Dicken und Kantenformen haben.

Kraftmessungen an Rechteckplatten sind bereits für eine Reihe von Seitenverhältnissen in der Literatur vorhanden (siehe Literaturverzeichnis [2], [3], [9] und weitere Zitate in [7]). Damit ergibt sich zwar eine gute Vergleichs- und Kontrollmöglichkeit für einen Teil der neueren Messungen, macht diese jedoch nicht entbehrlich, da — verursacht durch Differenzen in der Formgebung, der Meßanordnung und der Kennzahlen — eine für die obengenannten Ziele der Untersuchung erwünschte Übereinstimmung alter und neuer Messungen natürlich weder erwartet noch erreicht werden konnte.

Die vorliegenden Untersuchungen, einschließlich der Vorbereitungen, wurden in personeller und sachlicher Hinsicht durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft großzügig unterstützt, wofür an dieser Stelle das Institut für Schiffbau und die Verfasser danken möchten. Der Dank gilt auch dem Bundesministerium für Verkehr, das durch zeitweilige Förderung zur Durchführung der Arbeiten beitrug.

## B. Modelle und Versuchseinrichtung

### BA. Angaben über die Modelle

Bei der Auswahl der Modelle galt es folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- a) einfache Form,
- b) weitestgehende Kennzahlunempfindlichkeit, die auch bei nicht mehr genau zu definierenden Anströmverhältnissen gewahrt bleibt, um gute Studienobjekte für die verschiedenen theoretischen und experimentellen Arbeiten zu haben,

**Tabelle 1**

| Ruder Nr. | Seitenverhältnis A | Dickenverhältnis d/L | Höhe H (mm) | Länge L (mm) | Dicke d (mm) | Fläche F (m <sup>2</sup> ) | Schaft $\sigma$ (mm) |
|-----------|--------------------|----------------------|-------------|--------------|--------------|----------------------------|----------------------|
| 5.01      | 1,0                | 0,072                | 69,3        | 69,3         | 5            | 0,00482                    | 8,0                  |
| 5.02      | 1,2                | 0,072                | 83,3        | 69,3         | 5            | 0,00579                    | 8,0                  |
| 5.03      | 1,44               | 0,072                | 100         | 69,3         | 5            | 0,00693                    | 8,0                  |
| 5.04      | 1,73               | 0,072                | 120         | 69,3         | 5            | 0,00833                    | 8,0                  |
| 6.05      | 0,833              | 0,072                | 69,3        | 83,3         | 6            | 0,00579                    | 8,0                  |
| 5.06      | 1,0                | 0,072                | 83,3        | 83,3         | 6            | 0,00693                    | 8,0                  |
| 5.07      | 1,2                | 0,072                | 100         | 83,3         | 6            | 0,00833                    | 8,0                  |
| 6.08      | 1,44               | 0,072                | 120         | 83,3         | 6            | 0,01000                    | 8,0                  |
| 5.09      | 0,693              | 0,07                 | 69,3        | 100          | 7            | 0,00693                    | 8,0                  |
| 5.10      | 0,833              | 0,07                 | 83,3        | 100          | 7            | 0,00833                    | 8,0                  |
| 6.11      | 1,0                | 0,07                 | 100         | 100          | 7            | 0,0100                     | 8,0                  |
| 5.12      | 1,2                | 0,07                 | 120         | 100          | 7            | 0,0120                     | 8,0                  |
| 5.21      | 1,0                | 0,07                 | 416,6       | 416,6        | 29           | 0,17355                    | 25,0                 |
| 5.41      | 1,0                | 0,015                | 69,3        | 69,3         | 1,0          | 0,00482                    | 8,0                  |
| 5.42      | 1,2                | 0,015                | 83,3        | 69,3         | 1,0          | 0,00579                    | 8,0                  |
| 5.43      | 1,44               | 0,015                | 100         | 69,3         | 1,0          | 0,00693                    | 8,0                  |
| 5.44      | 1,73               | 0,015                | 120         | 69,3         | 1,0          | 0,00833                    | 8,0                  |
| 5.45      | 0,833              | 0,015                | 69,3        | 83,3         | 1,25         | 0,00579                    | 8,0                  |
| 5.46      | 1,0                | 0,015                | 83,3        | 83,3         | 1,25         | 0,00693                    | 8,0                  |
| 5.47      | 1,2                | 0,015                | 100         | 83,3         | 1,25         | 0,00833                    | 8,0                  |
| 5.48      | 1,44               | 0,015                | 120         | 83,3         | 1,25         | 0,0100                     | 8,0                  |
| 5.49      | 0,693              | 0,015                | 69,3        | 100          | 1,5          | 0,00693                    | 8,0                  |
| 5.50      | 0,833              | 0,015                | 83,3        | 100          | 1,5          | 0,00833                    | 8,0                  |
| 5.51      | 1,0                | 0,015                | 100         | 100          | 1,5          | 0,0100                     | 8,0                  |
| 5.51.1    | 1,0                | 0,015                | 100         | 100          | 1,5          | 0,0100                     | 8,0                  |
| 5.51.2    | 1,0                | 0,015                | 100         | 100          | 1,5          | 0,0100                     | 8,0                  |
| 5.51.3    | 1,0                | 0,015                | 100         | 100          | 1,5          | 0,0100                     | 8,0                  |
| 5.51.4    | 1,0                | 0,07                 | 100         | 100          | 7,0          | 0,0100                     | 8,0                  |
| 5.52      | 1,2                | 0,015                | 120         | 100          | 1,5          | 0,0120                     | 8,0                  |
| 5.53      | 0,346              | 0,015                | 34,6        | 100          | 1,5          | 0,00346                    | 8,0                  |

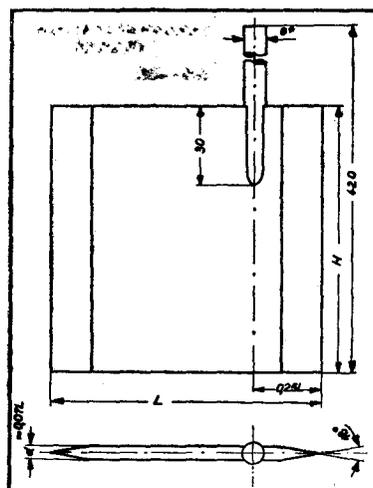


Abb. 1: Zugeschärftes Platten-Ruder Nr. 5.01—5.08

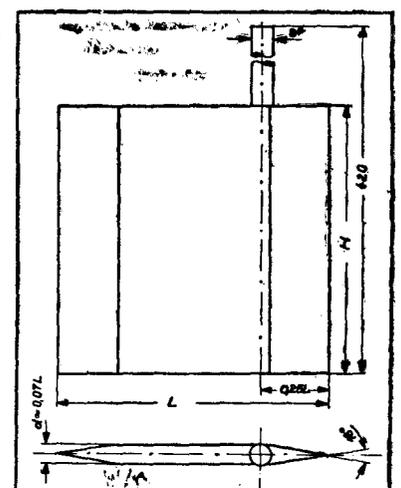


Abb. 2: Zugeschärftes Platten-Ruder Nr. 5.09—5.12

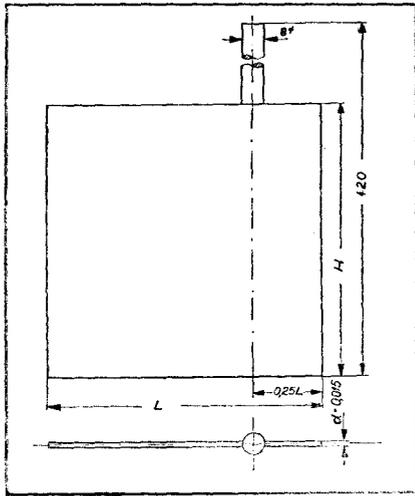
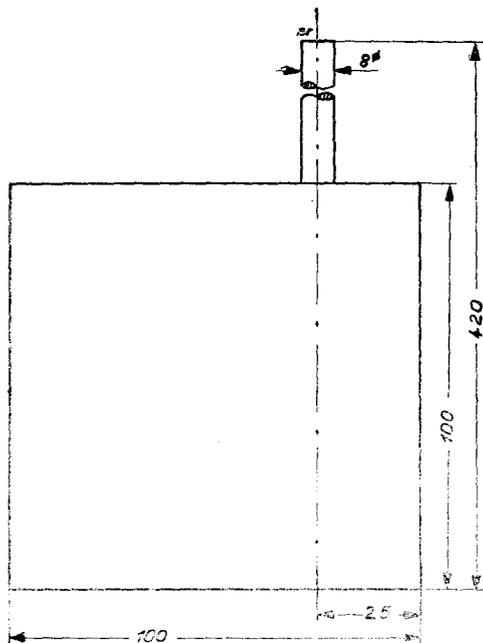


Abb. 3: Dünne, stumpfe Platten-Ruder Nr. 5.41—5.53



Ruder Nr.

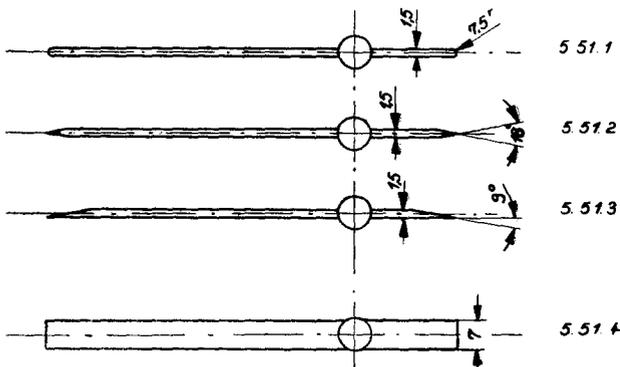


Abb. 4: Verschieden profilierte Platten-Ruder Nr. 5.51—5.51.4

c) schon bei kleinen Anstellwinkeln soll die Querkraft relativ groß sein (starker Querkraftanstieg).

Aus diesen Gründen wurden einfache Rechteckplatten als Ruder gewählt, obwohl die Platte heute kein aktuelles Profil für ausgeführte große Ruder mehr darstellt.

Die mit verschiedenen Seitenverhältnissen und Dicken sowie verschiedenen An- und Abströmkannten hergestellten Plattenrueder sind in Tabelle 1 und Abb. 1 bis 4 angegeben. Die Seitenkanten sind in allen Fällen scharfkantig stumpf. Die Ruderlänge und die Ruderhöhe sind in einem geometrischen Stufensprung mit dem Faktor 1,2 geteilt. Der Ruderschaft und damit die Momentenbezugslinie sind einheitlich auf 25% der Ruderlänge von vorn gelegt; damit ist noch nichts über die für guten Momentenausgleich „richtige“ Drehachslage ausgesagt, die natürlich von Fall zu Fall verschieden sein muß.

Das große zugeschärfte Ruder ist aus Kunststoff (Araldit Gießharz D) hergestellt, welches sich bestens bewährt hat, so z. B. Maßhaltigkeit, Kriechfestigkeit, Oberflächenbeschaffenheit usw. Die kleinen, dünnen Plattenrueder (Abb. 3 und 4) sind aus rostfreiem Stahl angefertigt, die dicken, zugeschärfte aus einer seewasserfesten Alulegierung (Abb. 1 und 2).

### BB. Angaben über Düse und Strahl

Die Untersuchungen wurden im alten Windkanal des Instituts für Schiffbau durchgeführt. Der Kanal hat im Normalzustand einen Strahldurchmesser von 1 m und besitzt keine Rückführung. Nähere Angaben finden sich in [8]. Der Turbulenzgrad des Kanals ist mit 1 m Strahldurchmesser und großer Düse erträglich; die bisherigen Untersuchungen ergaben für den Kanal mit großer Düse (Kontraktion 1/4) einen Turbulenzfaktor von

$$TF = \frac{Re_{kr} \cdot \text{freie Luft}}{Re_{kr} \cdot \text{Kanal}} \approx 1,3 \text{ (nach Kugelmessung)}$$

und lassen bei Verwendung der kleinen Düse (Gesamt-Kontraktion 1/16) mit 0,5 m Strahldurchmesser eine Verbesserung auf vielleicht  $TF = 1,1$  erwarten.

Da alle Versuche, sei es im Windkanal bzw. später dann im freien Wasser oder eingebaut im Schiffsmodell, mit den gleichen Modellen durchgeführt werden sollen, und da ferner nur eine Befestigung des Ruders mittels eines Schaftes in Frage kam, mußte zwangsläufig ein kleinerer Düsendurchmesser gewählt werden. — Weil man den Modell-Schaftdurchmesser in ein hydrodynamisch tragbares Verhältnis zu den Modellabmessungen bringen muß, kann man den Schaft aus festigkeits- und schwingungstechnischen Gründen nicht beliebig lang machen. — Deshalb wurden die Untersuchungen der kleinen Ruder in einem 500 mm Freistrahldurchmesser durchgeführt. Die hierfür notwendige neue Ansatz-Düse wurde ebenfalls über die Deutsche Forschungsgemeinschaft beschafft. Diese Düse ist aus Stahlblech geschweißt und von innen gespachtelt und lackiert. Die Düse führt von 1 m Durchmesser der normalen Düse ( $D_{S1}$ ) über 0,54 m Kontraktionslänge ( $L_{D2}$ ) auf 0,5 m Durchmesser ( $D_{S2}$ ) für den neuen Strahl. Das kennzeichnende Verhältnis der Düsenlänge ist:

$$\frac{L_{D2}}{D_{S1} - D_{S2}} = 1,08.$$

Die Kontraktion ist:

$$D_{S2}^2 / D_{S1}^2 = 1/4.$$

Das Flächenverhältnis (Versperungsverhältnis) der Modelle zum Strahl ergab noch tragbare Werte, und zwar war der Wert für das größte zu untersuchende Modell senkrecht zum Strahl ( $\beta = 90^\circ$ ) stehend:

$$\frac{F_{\max}}{F_S} = 0,0612$$

$F_S =$  Querschnittsfläche am Austritt der Düse  
 $F_{\max} =$  größte Modell-Ruderfläche.

Zur Ermittlung des Düsenfaktors  $q/p_0$  wurden der Vorkammerdruck  $p_0$  und der Staudruck  $q$  im freien, unversperrten Strahl bei verschiedenen Geschwindigkeiten mit Hilfe von zwei Betz-Manometern gemessen. Der Staudruck wurde mit einem Prandtlrohr, welches sich in einem Abstand

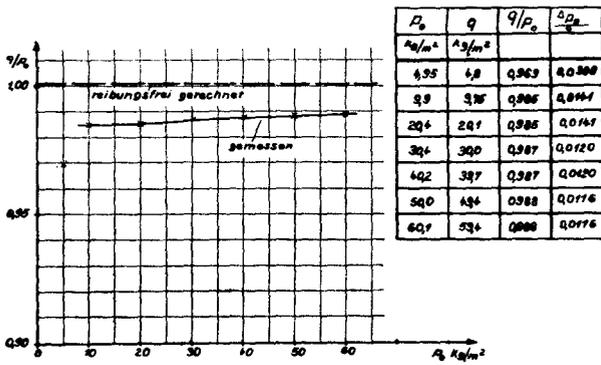


Abb. 5: Düsenfaktor für 500 mm  $\Phi$  Freistrahlf bei leerem Kanal

von  $x = \frac{D}{2} = 250$  mm hinter dem Düsenaustritt im Strahl befand, gemessen. Aus diesen beiden Werten ergibt sich dann der Düsenfaktor als Funktion von  $p_0$  (siehe Abb. 5).

Durch die merkliche Wandreibung infolge der hohen Kontraktion liegt der Düsenfaktor für die kleine Düse unter 1.

Sodann wurden, um die Gleichförmigkeit des Strahles zu überprüfen, mehrere Staudruckprofile gemessen, und zwar ein Profil im Abstand  $x = 10$  mm horizontal hinter dem Düsenaustritt und zwei weitere Profile im Abstand  $x = 250$  mm in horizontaler und vertikaler Ebene.

Der Vorkammerdruck wurde während der ganzen Messung konstant auf  $p_0 = 48,8$  kg/m<sup>2</sup> gehalten.

Daraus ergibt sich, daß die Strömung im Abstand  $x = 250$  mm hinter der Düse annähernd homogen ist. Wenn man von der Randauflösung des Strahles absieht, liegt die größte Druckabweichung bei diesem Vorkammerdruck bei ca. 1% vom Staudruck (siehe Tabelle 2, Abb. 6 und 7). Diese Genauigkeit reicht für unsere Versuche aus.

Bei sämtlichen Versuchen wurde die Geschwindigkeit nur aus dem Vorkammerdruck bestimmt, d. h.

$$v = \sqrt{\frac{P_0}{\rho} \cdot \left(\frac{q}{P_0}\right)}$$

wobei die Luftdichte  $\rho$  aus der Zustandsgleichung für ideale Gase bestimmt wurde. Die Untersuchung des großen Ruders erfolgte im 1 m Strahl. Auch hier wurden Messungen analog

Tabelle 2

500 mm Düse  $x = 10$  mm  
Staudruckprofil  
waagrecht

| $z$<br>mm | $P_g - P_{St}$<br>kg/m <sup>2</sup> | $P_{St}$<br>kg/m <sup>2</sup> | $P_g$<br>kg/m <sup>2</sup> | $P_0$<br>kg/m <sup>2</sup> |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 15        | 48,0                                | +0,2                          | 48,2                       | 48,8                       |
| 45        | 48,3                                | +0,55                         | 48,85                      | 48,8                       |
| 105       | 47,7                                | +1,1                          | 48,8                       | 48,8                       |
| 145       | 47,4                                | +1,4                          | 48,8                       | 48,8                       |
| 205       | 47,1                                | +1,8                          | 48,9                       | 48,8                       |
| 245       | 46,9                                | +1,75                         | 48,65                      | 48,8                       |
| 305       | 47,3                                | +1,5                          | 48,8                       | 48,8                       |
| 345       | 47,6                                | +1,1                          | 48,7                       | 48,8                       |
| 405       | 48,5                                | +0,3                          | 48,80                      | 48,8                       |
| 445       | 49,0                                | -0,2                          | 48,70                      | 48,8                       |
| 495       | 48,2                                | +0,25                         | 48,45                      | 48,8                       |

500 mm Düse  $x = 250$  mm =  $1/2 D$   
Staudruckprofile

| WAAGRECHT |   |                               |                            |                            | SENKRECHT |   |                               |                            |                            |
|-----------|---|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|---|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| $z$<br>mm | $P_g - P_{St} = q$<br>kg/m <sup>2</sup> | $P_{St}$<br>kg/m <sup>2</sup> | $P_g$<br>kg/m <sup>2</sup> | $P_0$<br>kg/m <sup>2</sup> | $y$<br>mm | $P_g - P_{St} = q$<br>kg/m <sup>2</sup> | $P_{St}$<br>kg/m <sup>2</sup> | $P_g$<br>kg/m <sup>2</sup> | $P_0$<br>kg/m <sup>2</sup> |
| 0         | 9,9                                     | -2,3                          | 7,6                        | 48,8                       | 0         | 13,3                                    | -2,5                          | 10,8                       | 48,8                       |
| 50        | 48,6                                    | +0,15                         | 48,75                      | 48,8                       | 50        | 46,5                                    | +0,2                          | 48,7                       | 48,8                       |
| 100       | 48,2                                    | +0,5                          | 48,7                       | 48,8                       | 100       | 48,2                                    | +0,6                          | 48,5                       | 48,8                       |
| 150       | 48,1                                    | +0,6                          | 48,7                       | 48,8                       | 150       | 48,2                                    | +0,6                          | 48,8                       | 48,8                       |
| 200       | 48,1                                    | +0,6                          | 48,7                       | 48,8                       | 200       | 48,2                                    | +0,6                          | 48,8                       | 48,8                       |
| 250       | 48,1                                    | +0,6                          | 48,7                       | 48,8                       | 250       | 48,2                                    | +0,6                          | 48,8                       | 48,8                       |
| 300       | 48,2                                    | +0,6                          | 48,8                       | 48,8                       | 300       | 48,2                                    | +0,7                          | 48,9                       | 48,8                       |
| 350       | 48,2                                    | +0,6                          | 48,8                       | 48,8                       | 350       | 48,2                                    | +0,6                          | 48,8                       | 48,8                       |
| 400       | 48,2                                    | +0,6                          | 48,8                       | 48,8                       | 400       | 48,3                                    | +0,6                          | 48,9                       | 48,8                       |
| 450       | 48,5                                    | +0,3                          | 48,8                       | 48,8                       | 450       | 47,05                                   | +0,5                          | 47,55                      | 48,8                       |
| 500       | 35,2                                    | -1,9                          | 33,3                       | 48,8                       | 500       | 29,6                                    | +1,9                          | 27,7                       | 48,8                       |

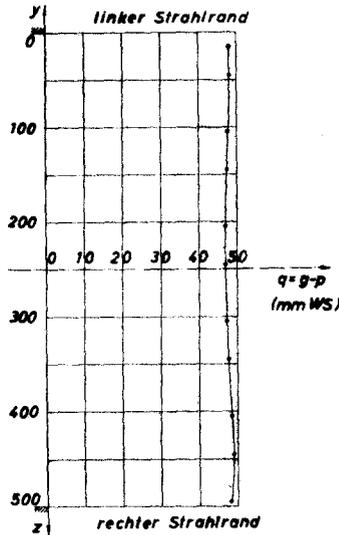


Abb. 6: Staudruckprofil im 500 mm  $\Phi$  Strahl;  $x/D_{S2} = 0,02$

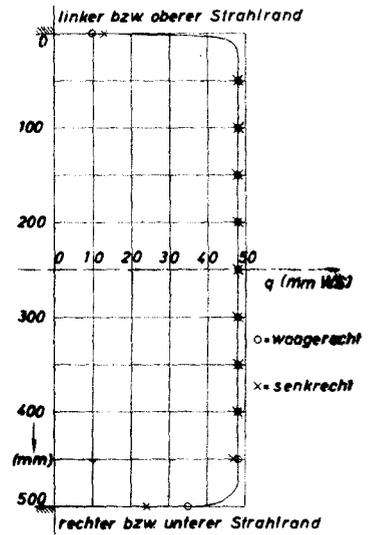


Abb. 7: Staudruckprofil im 500 mm  $\Phi$  Strahl;  $x/D_{S2} = 0,5$

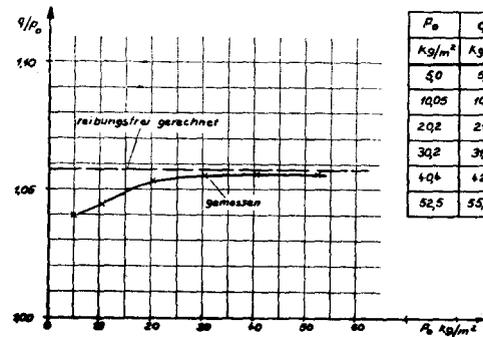


Abb. 8: Düsenfaktor 1000 mm Freistrahlf bei leerem Kanal

der 500 mm Düse ausgeführt, nur ergab es sich, daß der Düsenfaktor größer als 1 ist (Abb. 8). Angaben über die Staudruckverteilung im Strahl von 1 m Durchmesser finden sich in [8].

Für den Düsenfaktor bei leerem Kanal kann man ableiten:

$$\frac{q}{P_0} = \frac{1}{1 - (D_S/D_0)^4 + \frac{\Delta P_D}{q} + \frac{P_S}{q}}$$

$D_0$  = Vorkammerdurchmesser  
 $P_S$  = statischer Druck im Strahlkern  
 $D_S$  = Strahldurchmesser  
 $P_S/q = 0,005$  nach Prandtl [4].  
 $\Delta P_D$  = Druckabfall in der Düse

Der hiermit bestimmte Druckverlust in der Düse ist auch in den Abb. 5 und 8 angegeben.

**BC. Beschreibung des kleinen Rudermeßgerätes**

Das kleine Rudermeßgerät ist die Spezialausführung einer 3-Komponentenwaage, mit der Querkraft, Widerstand und Moment von Rudern, Profilen und Platten direkt gemessen werden. Das Gerät ist in erster Linie zum Einbau in kleine Modelle gebaut, hat sich aber auch für die Messung freifahrer Ruders und Platten im Windkanal und am Schleppwagen bewährt. Es ist für Ruderkräfte bis maximal 1 kg und Rudermomente bis zu 2,5 cmkg ausgelegt. Die Belastungsgrenze des Gerätes ergibt sich aus der Festigkeitsbeanspruchung der Parallelführung der Ruderachse. Die angegebene Belastung gilt für einen Abstand von 320 mm von Unterkante Ruder bis Unterkante Gehäuse.

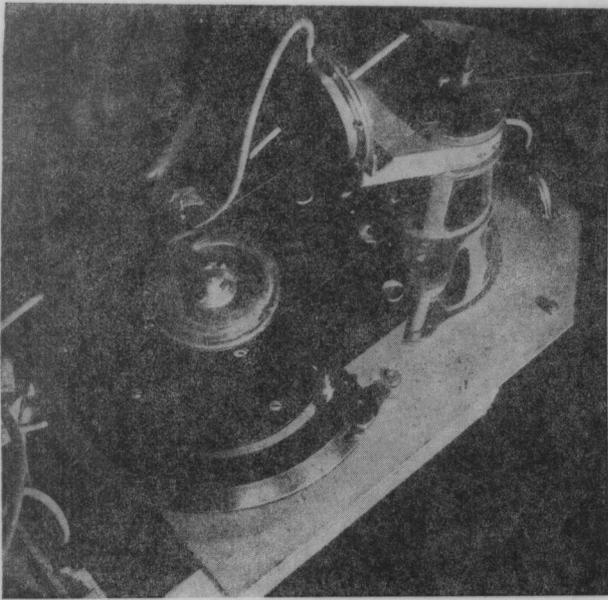


Abb. 9: Kleines Rudermeßgerät mit pneumatischen Druckdosen

Das Gerät — eine von der Deutschen Forschungsgemeinschaft für das Forschungsvorhaben „Ruder“ gemachte Zuwendung — ist von der Firma Ihlenfeld in Hamburg-Blankenese nach Entwurf der Hamburgischen Schiffbauversuchsanstalt geliefert worden [5]; eine wesentliche Leistungsverbesserung des Gerätes wurde dann noch dadurch erzielt, daß sämtliche Lagerungen durch das Institut für Schiffbau auf Kugellager umgebaut wurden.

Der Aufbau des kleinen Rudermeßgerätes wird an Hand von Abb. 9 beschrieben:

Die Ruderachse mit dem Ruderblatt wird in dem Gelenkhebel durch eine Flügelschraube befestigt. Die Gelenkhebel gestatten ein freies Ausweichen des Modells senkrecht zur Modellachse. Zur Übertragung der aus den hydrodynamischen Kräften des Ruders entstehenden Drehmomente ist der Gelenkhebel zwecks Aufnahme der auf Kugellagern leichtläufig gelagerten Ruderachshalterung ausgebohrt. Auch werden von dem Gelenkhebel die Kräfte, die senkrecht aufeinanderstehen, abgenommen, z. B. Widerstand und Querkraft. Am oberen Ende der Achshalterung ist das Gegenstück der Längenausgleichskupplung befestigt. Die spielfreie Übertragung des Drehmomentes über die Längenausgleichskupplung geschieht durch vier kleine Kugellager. Die durch das Auswandern des Gelenkhebels nötige Verlagerung wird hierdurch erreicht. Durch die Paarung Kardangeln und Kupplung ist es möglich, daß die Übertragung des Drehmomentes oder die Verstellung des Anstellwinkels keinen Einfluß auf die zu messenden Kräfte hat. Die Verstellung der Anstellwinkel (Ruderwinkel) erfolgt von einer auf der gleichen Grundplatte montierten Rudermaschine über eine Seilscheibe, die auf dem Rudermeßgerät eine Gegenscheibe vom gleichen Durchmesser hat. Die Scheibe auf dem Rudermeßgerät ist gleichzeitig die Basis für die Drehmomentenmeßdose. Die Ablesung des wirklichen sich unter Belastung einstellenden Winkels ist auf einer Skala am Rudermeßgerät gegeben. Die Kräfte, Widerstand und Querkraft, werden am Gelenkhebel mit der Ruderachshalterung abgenommen und durch zwei in Spitzen gelagerte Schubstangen auf pneumatische Druckmeßdosen [6] übertragen. Die gegenseitige Beeinflussung durch die endliche Schubstangenlänge und durch die Schwerkraft der seitwärts ausgelenkten Längenausgleichskupplung liegt bei maximaler Belastung des Rudermeßgerätes bei 1 v. H. Die Ablesung der Kräfte und Momente geschieht mittels Mano-Vakuummeter, die über dünne Schläuche mit den Druckmeßdosen verbunden sind. Bei vielen Versuchen ist es erforderlich, daß ein Dämpfungsglied zwischengeschaltet werden kann, um eine Ablesung zu er-

möglichen; das wird erreicht, indem man einen Hahn drosselt, der sich in dem Verbindungsschlauch zwischen Rudermeßgerät und Anzeige - oder Schreibgerät befindet und somit die Durchströmöffnung verkleinert.

#### BD. Beschreibung der großen 3-Komponentenwaage

Zur Messung des großen Plattenruders (Modell 5.21) reichte das kleine Rudermeßgerät nicht mehr aus, es mußte die große 3-Komponentenwaage benutzt werden, die von der Firma Kempf und Remmers, Hamburg, im Rahmen einer früheren Zuwendung der Deutschen Forschungsgemeinschaft an das Institut für Schiffbau geliefert worden ist. Das Prinzip der Waage beruht darauf, daß das zu untersuchende Modell auf einem Balken befestigt ist, der nur in zwei Ebenen frei beweglich ist, was durch entsprechende Hebelanordnung erreicht wird. Für diese Untersuchung ist die Waage auf ein fahrbares Gerüst montiert worden, um die Modelle bequem auszurichten. Es besteht ferner die Möglichkeit, verschiedene Meßglieder anzuschließen. Die Messungen wurden teils mit Federwaagen oder auch nur mit Gewichten ausgeführt. Siehe Abb. 10.

Gemessen wurden zwei Widerstandskomponenten ( $W_1$  und  $W_2$ ) in genau definierten Abständen ( $a$  und  $b$ ) von der Modellachse aus und eine Querkraft, deren Angriffspunkt durch die Ruderachse geht. Aus diesen Komponenten ergeben sich Widerstand  $W$ , Querkraft  $Q$  und Moment  $M$ :

$$W = W_1 + W_2$$

$$Q$$

$$M = W_1 \cdot a - W_2 \cdot b.$$

Die Eigenreibung der Waage beträgt im unbelasteten Zustand ca. 15 g.

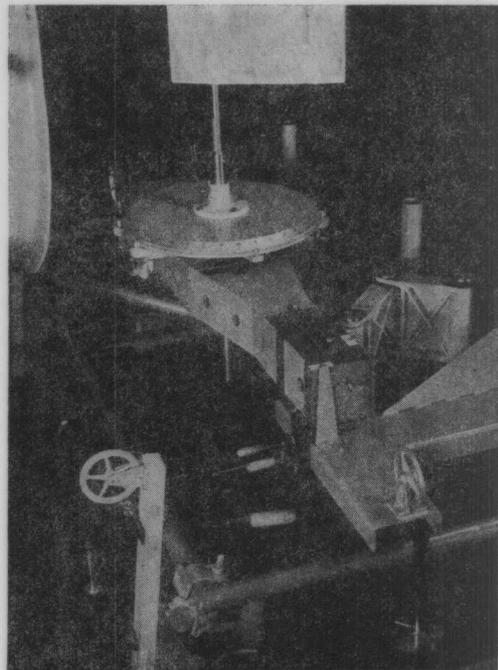


Abb. 10: Große 3-Komponentenwaage mit Gewichten

#### C. Untersuchungsmethoden

##### CA. Messung mit Rollen und Gewichten

Die einfachste Weise, Kräfte zu messen, ist die mit Gewichten und Waagschale (Nullmethode). Die Kräfte können auch ohne Schaden mehrfach durch Rollen umgelenkt werden, wenn der Krümmungsradius des Seiles nicht zu klein ist und die Rollen auf Kugellagern laufen. Dieses Verfahren wurde bei der Benutzung der vorher beschriebenen großen 3-Komponentenwaage fast durchweg angewandt.

### CB. Messung mit Federwaagen

Der nächste Schritt zur Verkürzung der Meßzeiten ist die Federwaage (teilweise bei der großen 3-Komponentenwaage verwandt). Zur Verwendung kommen hier in erster Linie Blatt- und Schraubenfedern. Bei dem Messen mit Federwaagen ist für grobe Orientierung direkte Ablesung der Kräfte in Gramm möglich. Wenn aber größere Genauigkeit verlangt wird, empfiehlt sich eine Ablesung nur in Skalenteilen und die Verwendung einer Eichkurve; in dem Fall sollte dann die Feder des öfteren geeicht werden. Um mit Federwaagen sauber messen zu können, ist in den meisten Fällen eine wirksame Dämpfung unumgänglich, es sei denn, die Eigenfrequenz des Modells ist sehr niedrig, z. B. durch große Modellgewichte und mitbewegte Massen von Hebeln, Stangen etc. Eigenfrequenz:

$$v_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}$$

$c$  = Federkonstante  
 $m$  = Masse  
 $v_0$  = Eigenfrequenz

Die Verwendung von Federwaagen ist aus diesen Gründen also beschränkt und war daher bei dieser Untersuchung für die kleinen Ruder nicht mehr anwendbar.

### CC. Messung mit pneumatischen Druckdosen

Bei dem Messen mit pneumatischen Druckdosen [6] kann leicht irgendeine beliebige Dämpfung eingestellt werden und ferner ist es ohne Aufwand möglich, die Meßwerte an einen für den Beobachter günstigen Standpunkt abzulesen resp. aufzuschreiben. Dieses Verfahren ist daher hier überwiegend und mit gutem Erfolg angewandt worden und hat auch betrieblich befriedigt.

### CD. Fehlerabschätzungen

Sieht man von groben Fehlern ab, bei denen das Ergebnis ganz aus der Reihe fällt, so gibt es zwei Arten von Fehlern: systematische und unsystematische. Erstere sind durch Fehler in der Meßeinrichtung oder durch den Versuchsaufbau begründet, z. B. fehlerhafte Skalen, versetzte Nullpunkte etc. Die unsystematischen Fehler setzen sich z. B. aus Einstell- und Ablesungenauigkeiten und Geschwindigkeitsschwankungen zusammen. Nachfolgend eine Aufzählung der im ungünstigsten Fall zusammenfassenden Fehler, angegeben in v. H. des Maximalwertes:

1. Fehler in der Waage . . . . .  $\pm 1,0\%$
2. Anzeigeinstrument der Güteklasse 1,5 . . . . .  $\pm 1,5\%$
3. Anstellwinkelfehler . . . . .  $\pm 0,5\%$
4. Formfehler des Modells . . . . .  $\pm 0,2\%$
5. Menschliche Ablesungenauigkeit . . . . .  $\pm 0,3\%$
5. Geschwindigkeitsschwankungen des Windkanals  $\pm 0,1\%$

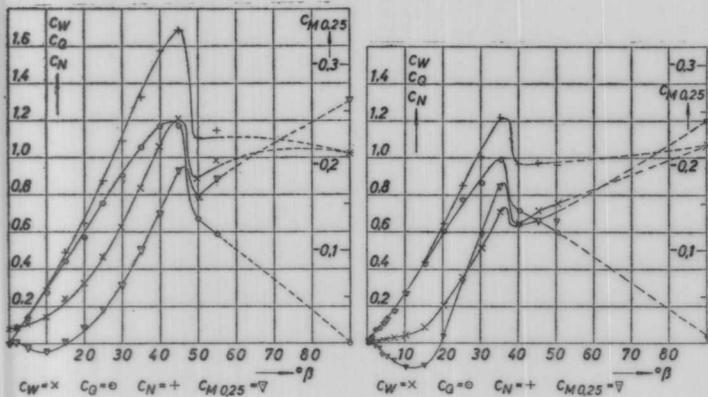


Abb. 13: Zugeschärftes Platten-Ruder 5.09;  $\Lambda = 0,693$ ;  
 $Re = 0,192 \cdot 10^6$ ;  $c_W c_Q c_N c_{M0,25} = f(\beta)$

Abb. 14: Zugeschärftes Platten-Ruder 5.21;  $\Lambda = 1,0$ ;  
 $Re = 0,570 \cdot 10^6$ ;  $c_W c_Q c_N c_{M0,25} = f(\beta)$

### CE. Aufnahme der Plattenumströmung

Um die aus den Kraftmessungen zu gewinnenden Ergebnisse zu ergänzen, sind einige Versuche zur Sichtbarmachung der Umströmung von Platten im Trimm-tank der Schlepprinne der Ingenieurschule Hamburg ausgeführt worden. Die Wasseroberfläche wurde dünn mit Aluminiumpulver bestreut. Das Modell wurde an einem kleinen Wagen befestigt, der auf der „Ahlborn-Brücke“ läuft. Das Modell ist so von unten an einer horizontalen Platte befestigt worden, daß kein störender Schaft resp. Teile der Einspannvorrichtung die Sicht von oben behindern. Das Modell ragte etwa 1 mm aus der Wasseroberfläche heraus, um so die Modellform im Bild klar hervortreten zu lassen. Die so untersuchten Modelle hatten eine Höhe von 120 mm und eine Länge von 100 mm.

Wird das Modell dann mit geringer Geschwindigkeit ( $\frac{v \cdot L}{\nu}$  etwa  $10^4$ ) bewegt, so zeichnen sich deutlich Strömungsbilder auf der Wasseroberfläche ab, die für kurze Zeit sichtbar sind. Für genaue Auswertungen und spätere Analysen müssen die Vorgänge fotografiert oder gefilmt werden. (Siehe beigefügte Bilder Abb. 16 bis 26). Die Untersuchungen gelten etwa für

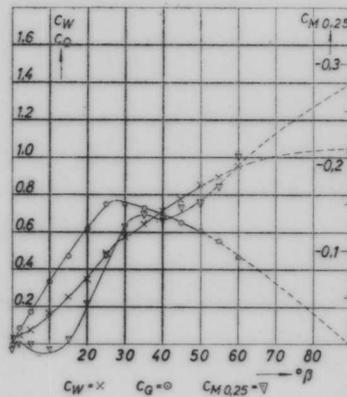


Abb. 11: Zugeschärftes Platten-Ruder 5.01;  $\Lambda = 1$ ;  
 $Re = 0,138 \cdot 10^6$ ;  $c_W c_Q c_{M0,25} = f(\beta)$

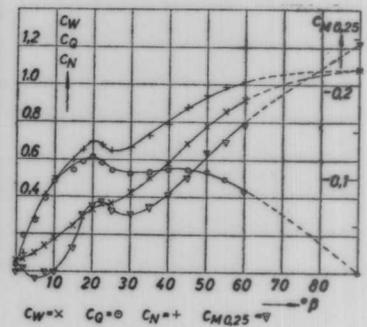


Abb. 12: Zugeschärftes Platten-Ruder 5.04;  $\Lambda = 1,73$ ;  
 $Re = 0,136 \cdot 10^6$ ;  $c_W c_Q c_{M0,25} = f(\beta)$

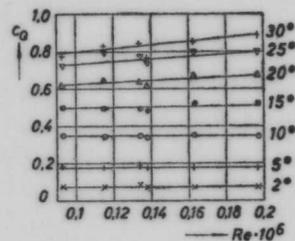


Abb. 15: Zugeschärftes Platten-Ruder;  $\Lambda = 1,0$ ;  $c_Q(Re)$

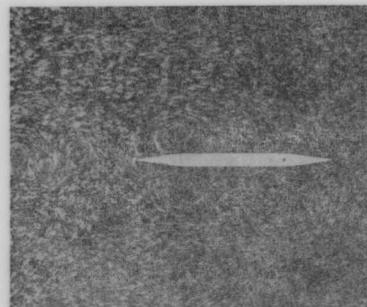


Abb. 16: Zugeschärftes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 0^\circ$



Abb. 17: Zugeschärftes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 13^\circ$



Abb. 18: Zugeschärftes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 27,5^\circ$



Abb. 19: Zugeschärftes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 30^\circ$



Abb. 20: Zugeschärftes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 37^\circ$

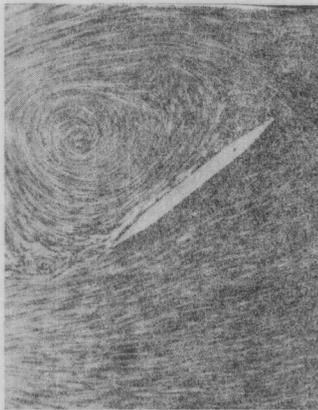


Abb. 21: Zugeschärftes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 40^\circ$

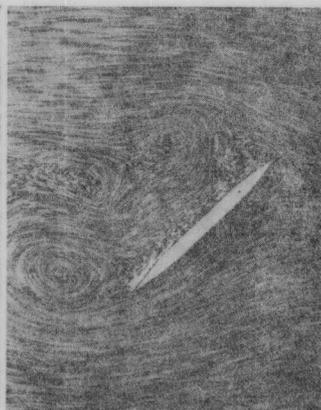


Abb. 22: Zugeschärftes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 42^\circ$

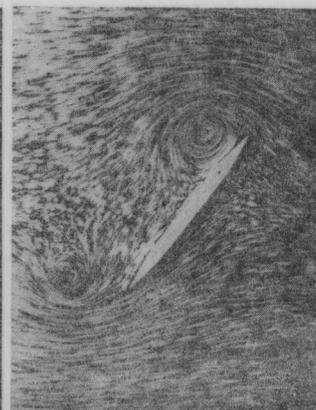


Abb. 23: Zugeschärftes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 52^\circ$



Abb. 24: Zugeschärftes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 55^\circ$



Abb. 25: Zugeschärftes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 90^\circ$  (Anfahrzustand)

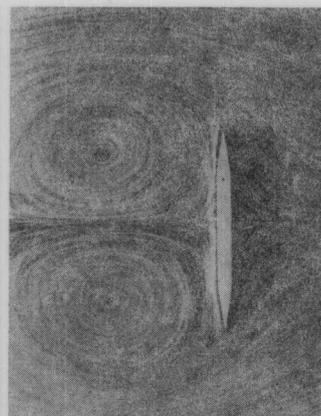


Abb. 26: Zugeschärftes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 90^\circ$  (Endzustand)

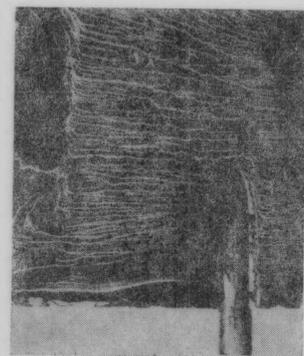
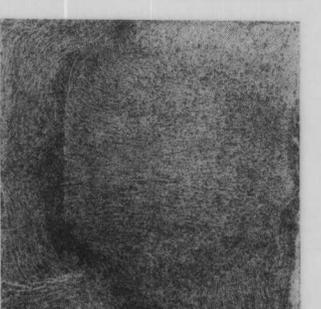


Abb. 27: Zugeschärftes Platten-Ruder 5.01, Grenzschichtaufnahme bei  $\beta = 10^\circ$ ;  $Re = 0,13 \cdot 10^6$   
Links Druckseite, rechts Saugseite



Abb. 28: Zugeschärftes Platten-Ruder 5.11;  $\Lambda = 1,0$ ; Grenzschichtaufnahme bei  $\beta = 25^\circ$ ;  $Re = 0,2 \cdot 10^6$   
Links Druckseite, rechts Saugseite



zweidimensionale Strömung. Dies wurde erreicht, indem die Halteplatte unten als große Endscheibe ausgebildet wurde; oben bildet die Wasseroberfläche bei der geringen Froudeschen Zahl  $v/\sqrt{g \cdot L}$  etwa 0,1) auch eine Art „Endscheibe“. Die Geschwindigkeit ist so gewählt, daß keine Wellenbildung und dadurch auch kein Überspülen der eben über dem Wasserspiegel liegenden Modelloberkante eintreten kann.

#### CF. Aufnahmen der Grenzschichtströmung

Als weitere Ergänzung sollte festgestellt werden, inwieweit eine Beeinflussung der Grenzschichtströmung durch den Ruderschaft auftritt. Zu diesem Zweck wurden die Ruderblätter mit einem Gemisch aus Lampenruß und Petroleum eingestrichen und dann bei normaler Anordnung im Windkanal so lange angeblasen, bis das Petroleum restlos ver-

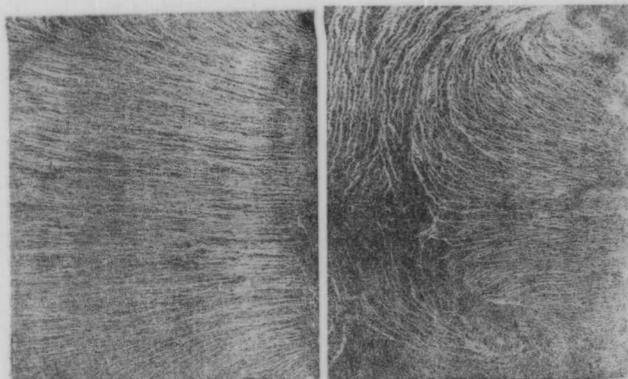


Abb. 29: Zugeschärftes Platten-Ruder 5,12;  $\Lambda = 1,2$ ;  
Grenzschichtaufnahme bei  $\beta = 25^\circ$ ;  $Re = 0,2 \cdot 10^6$   
Links Druckseite, rechts Saugseite

dampft war. Mit diesem Verfahren wurden anschauliche Bilder erzielt (Abb. 27 bis 29). Nur an Stellen mit sehr kleiner Strömungsgeschwindigkeit verdampft das Petroleum in absehbarer Zeit nicht und stört z. B. durch Tropfenbildung das klare Bild. Diese Aufnahmen sind nicht auf kleine Reynolds Zahlen beschränkt; bei den zitierten Fotos sind die jeweils erzielten Kennzahlen angegeben.

## D. Ergebnisse

Wie bereits einleitend unter A. ausgeführt, stellen die hier besprochenen Untersuchungen zwar ein in sich abgeschlossenes Teilgebiet einer umfangreichen Aufgabe dar, sie sollen aber ihre eigentliche Auswertung und volle Bewertung erst im Rahmen der hierauf aufbauenden weiteren Untersuchungen finden. Von diesen weiteren Arbeiten sind zur Zeit der Abfassung dieser Mitteilung einige erst nur in Vorbereitung (z. B. die Untersuchung der am Schiff eingebauten Ruder), einige sind hinsichtlich der Messungen fast beendet (wie z. B. die Untersuchung des Einflusses der freien Wasseroberfläche auf die Eigenschaften freifahrer Ruder), und andere wiederum sind nur teilweise erledigt. Hierzu gehört auch die Untersuchung des Ruders im Propellerstrahl und als notwendige Basis auch der Zustand des Ruders in einem drallfreien Strahl. Mit letzterem wiederum eng verknüpft ist das Problem der Windkanalkorrekturen für die Untersuchung von Flächen und Körpern mit kleinem Seitenverhältnis bei denen, im Gegensatz zu den bei Windkanalversuchen mit Flächen großen Seitenverhältnisses gemachten Voraussetzungen, auch sehr große Anstellwinkel und recht beachtliche Zähigkeitswiderstände einzuschließen sind. Die Frage dieser Korrekturen war bereits im Anfang des Ruder-Forschungsvorhabens am Institut für Schiffbau aufgeworfen worden (Abschnitt m. aus [7]). Inzwischen sind theoretische Gesichtspunkte zur Formulierung dieser Korrekturen deutlich geworden, um gestützt auf experimentelle Kontrollen, wofür auch die hier vorgelegten Ergebnisse beitragen sollen, bestmöglich erkannte Korrekturen an solchen Messungen anzubringen. Im Hinblick auf diese bevorstehende Arbeit und auch darauf, daß diese Korrekturen notwendigerweise leider nicht mehr so einfach sein können wie

Ruder Nr. 5.01  
 $Re = 0,093 \cdot 10^6$

| $\beta^\circ$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|---------------|-------|--------|--------|--------------|
| -2            | 0,039 | -0,038 | -0,039 | 0            |
| 0             | 0,039 | 0      | 0      | 0            |
| +2            | 0,050 | 0,076  | 0,078  | 0            |
| 5             | 0,088 | 0,185  | 0,192  | 0            |
| 10            | 0,143 | 0,316  | 0,336  | +0,013       |
| 15            | 0,214 | 0,500  | 0,538  | 0            |
| 20            | 0,340 | 0,613  | 0,692  | -0,027       |
| 25            | 0,474 | 0,739  | 0,870  | -0,081       |
| 30            | 0,550 | 0,759  | 0,932  | -0,107       |
| 35            | 0,642 | 0,759  | 0,990  | -0,107       |
| 40            | 0,718 | 0,722  | 1,015  | -0,107       |
| 45            | 0,810 | 0,680  | 1,054  | -0,107       |
| 50            | 0,844 | 0,680  | 1,084  | -0,149       |
| 55            | 0,953 | 0,538  | 1,089  | -0,136       |
| 60            | 1,028 | 0,420  | 1,100  | -0,149       |
| 90            | 1,100 | 0      | 1,100  | -0,245       |

Tabelle 5

$\Lambda = 1,0$  Tabelle 3  
 $Re = 0,138 \cdot 10^6$

| $\beta^\circ$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|---------------|-------|--------|--------|--------------|
| -2            | 0,038 | -0,075 | -0,076 | 0            |
| 0             | 0,038 | 0      | 0      | +0,005       |
| +2            | 0,050 | 0,089  | 0,091  | 0            |
| 5             | 0,079 | 0,172  | 0,178  | 0            |
| 10            | 0,162 | 0,337  | 0,360  | +0,005       |
| 15            | 0,244 | 0,476  | 0,523  | -0,0064      |
| 20            | 0,345 | 0,619  | 0,700  | -0,045       |
| 25            | 0,485 | 0,751  | 0,886  | -0,097       |
| 30            | 0,579 | 0,751  | 0,940  | -0,127       |
| 35            | 0,643 | 0,724  | 0,962  | -0,140       |
| 40            | 0,717 | 0,683  | 0,984  | -0,134       |
| 45            | 0,775 | 0,650  | 1,008  | -0,146       |
| 50            | 0,858 | 0,608  | 1,048  | -0,152       |
| 55            | 0,922 | 0,552  | 1,003  | -0,170       |
| 60            | 0,955 | 0,461  | 1,058  | -0,202       |
| 90            | 1,040 | 0      | 1,040  | -0,280       |

Tabelle 4  
 $\Lambda = 1,2$

Ruder Nr. 5.04  
 $Re = 0,0905 \cdot 10^6$

| $\beta^\circ$ | $C_W$ | $C_Q$ | $C_N$ | $C_{M,0,25}$ |
|---------------|-------|-------|-------|--------------|
| -2            | 0,054 | 0,004 | 0,004 | +0,020       |
| 0             | 0,063 | 0,121 | 0,123 | -0,0059      |
| 5             | 0,088 | 0,262 | 0,269 | +0,0045      |
| 7,5           | -     | -     | -     | -            |
| 10            | 0,161 | 0,461 | 0,482 | +0,0045      |
| 15            | 0,234 | 0,539 | 0,581 | -0,0224      |
| 17,5          | -     | -     | -     | -            |
| 20            | 0,321 | 0,583 | 0,652 | -0,0699      |
| 22,5          | -     | -     | -     | -            |
| 25            | 0,385 | 0,549 | 0,660 | -0,0587      |
| 30            | 0,438 | 0,466 | 0,623 | -0,0787      |
| 35            | 0,516 | 0,478 | 0,688 | -0,0629      |
| 40            | 0,589 | 0,478 | 0,745 | -0,0777      |
| 45            | 0,686 | 0,466 | 0,743 | -0,0924      |
| 50            | 0,769 | 0,505 | 0,814 | -0,130       |
| 55            | 0,847 | 0,461 | 0,858 | -0,137       |
| 60            | 0,920 | 0,408 | 1,001 | -0,153       |
| 90            | 1,061 | 0     | 1,061 | -0,255       |

Tabelle 6  
 $\Lambda = 1,23$

Ruder Nr. 5.05  
 $Re = 0,109 \cdot 10^6$

| $\beta^\circ$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|---------------|-------|--------|--------|--------------|
| -2            | 0,055 | -0,070 | -0,072 | +0,0101      |
| 0             | 0,057 | 0,007  | 0,007  | 0            |
| +2            | 0,057 | 0,070  | 0,072  | 0            |
| 5             | 0,072 | 0,152  | 0,168  | -0,0101      |
| 10            | 0,152 | 0,302  | 0,324  | -0,0101      |
| 15            | 0,226 | 0,442  | 0,485  | -0,0101      |
| 20            | 0,226 | 0,589  | 0,674  | -0,0285      |
| 25            | 0,306 | 0,730  | 0,875  | -0,0479      |
| 30            | 0,674 | 0,842  | 1,066  | -0,104       |
| 35            | 0,878 | 0,919  | 1,256  | -0,161       |
| 40            | 1,095 | 0,951  | 1,440  | -0,199       |
| 45            | 0,828 | 0,989  | 1,002  | -0,161       |
| 50            | 0,892 | 0,933  | 1,002  | -0,161       |
| 55            | 0,906 | 0,919  | 1,039  | -0,188       |
| 60            | 0,982 | 0,907  | 1,094  | -0,188       |
| 90            | 1,127 | 0      | 1,127  | -0,264       |

Tabelle 7  
 $\Lambda = 0,833$

Ruder Nr. 5.02  
 $Re = 0,096 \cdot 10^6$

| $\beta^\circ$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|---------------|-------|--------|--------|--------------|
| -2            | 0,041 | -0,061 | -0,062 | 0            |
| 0             | 0,041 | 0,001  | 0,001  | 0            |
| +2            | 0,041 | 0,078  | 0,079  | +0,0122      |
| 5             | 0,087 | 0,216  | 0,223  | 0            |
| 10            | 0,133 | 0,371  | 0,388  | 0            |
| 15            | 0,180 | 0,525  | 0,554  | -0,0243      |
| 20            | 0,319 | 0,648  | 0,718  | -0,0911      |
| 25            | 0,396 | 0,617  | 0,727  | -0,0911      |
| 30            | 0,396 | 0,572  | 0,693  | -0,0911      |
| 35            | 0,550 | 0,648  | 0,846  | -0,114       |
| 40            | 0,658 | 0,632  | 0,907  | -0,114       |
| 45            | -     | -      | -      | -            |
| 50            | 0,858 | 0,572  | 1,025  | -0,159       |
| 55            | 0,921 | 0,494  | 1,038  | -0,171       |
| 60            | 0,953 | 0,417  | 1,043  | -0,182       |
| 90            | 1,075 | 0      | 1,075  | -0,260       |

Tabelle 8  
 $\Lambda = 1,0$

$\Lambda = 1,44$  Tabelle 5  
 $Re = 0,137 \cdot 10^6$

| $\beta^\circ$ | $C_W$ | $C_Q$ | $C_N$ | $C_{M,0,25}$ |
|---------------|-------|-------|-------|--------------|
| -2            | 0,057 | 0     | 0     | 0            |
| 0             | 0,062 | 0,072 | 0,074 | 0            |
| +2            | 0,096 | 0,217 | 0,225 | -0,0086      |
| 5             | 0,173 | 0,402 | 0,426 | 0            |
| 10            | 0,252 | 0,536 | 0,583 | -0,0159      |
| 15            | 0,334 | 0,618 | 0,695 | -0,059       |
| 20            | 0,405 | 0,618 | 0,731 | -0,076       |
| 25            | 0,426 | 0,524 | 0,667 | -0,059       |
| 30            | 0,522 | 0,547 | 0,748 | -0,067       |
| 35            | 0,614 | 0,582 | 0,841 | -0,084       |
| 40            | 0,730 | 0,601 | 0,941 | -0,101       |
| 45            | 0,822 | 0,594 | 1,012 | -0,118       |
| 50            | 0,894 | 0,547 | 1,046 | -0,126       |
| 55            | 0,938 | 0,489 | 1,057 | -0,139       |
| 90            | 1,123 | 0     | 1,123 | -0,231       |

Tabelle 9  
 $\Lambda = 1,0$

Ruder Nr. 5.06  
 $Re = 0,115 \cdot 10^6$

| $\beta^\circ$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|---------------|-------|--------|--------|--------------|
| -2            | 0,043 | -0,063 | -0,064 | 0            |
| 0             | 0,043 | 0,010  | 0,010  | 0            |
| +2            | 0,043 | 0,067  | 0,069  | 0            |
| 5             | 0,085 | 0,170  | 0,177  | 0            |
| 10            | 0,124 | 0,338  | 0,355  | 0            |
| 15            | 0,199 | 0,498  | 0,533  | 0            |
| 20            | 0,300 | 0,645  | 0,709  | -0,024       |
| 25            | 0,446 | 0,802  | 0,915  | -0,063       |
| 30            | 0,557 | 0,802  | 0,973  | -0,102       |
| 35            | 0,650 | 0,785  | 1,016  | -0,125       |
| 40            | 0,673 | 0,738  | 1,001  | -0,118       |
| 45            | 0,755 | 0,685  | 1,018  | -0,118       |
| 50            | 0,825 | 0,697  | 1,080  | -0,133       |
| 55            | 0,900 | 0,655  | 1,113  | -0,149       |
| 60            | 0,942 | 0,557  | 1,094  | -0,157       |
| 90            | 1,065 | 0      | 1,065  | -0,282       |

Tabelle 10  
 $\Lambda = 1,0$

Ruder Nr. 5.03  
 $Re = 0,0924 \cdot 10^6$

| $\beta^\circ$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|---------------|-------|--------|--------|--------------|
| -2            | 0,070 | -0,064 | -0,065 | 0            |
| 0             | 0,076 | 0      | 0      | 0            |
| +2            | 0,088 | 0,053  | 0,056  | 0            |
| 5             | 0,117 | 0,216  | 0,225  | -0,0194      |
| 10            | 0,152 | 0,409  | 0,429  | 0            |
| 15            | 0,234 | 0,555  | 0,597  | -0,0194      |
| 20            | 0,335 | 0,619  | 0,696  | -0,0658      |
| 25            | 0,409 | 0,619  | 0,734  | -0,0852      |
| 30            | 0,450 | 0,555  | 0,706  | -0,0658      |
| 35            | 0,491 | 0,566  | 0,745  | -0,0852      |
| 40            | 0,602 | 0,566  | 0,821  | -0,0852      |
| 45            | 0,718 | 0,590  | 0,925  | -0,104       |
| 50            | 0,847 | 0,578  | 1,020  | -0,123       |
| 55            | 0,900 | 0,537  | 1,045  | -0,132       |
| 60            | 0,952 | 0,473  | 1,061  | -0,151       |
| 90            | 1,104 | 0      | 1,104  | -0,236       |

Tabelle 11  
 $\Lambda = 1,0$

Ruder Nr. 5.07

$\Lambda = 1,2$  **Tabelle 9**

$Re = 0,1095 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|
| -2        | 0,045 | -0,087 | -0,089 | 0            |
| 0         | 0,043 | -0,001 | -0,001 | 0            |
| +2        | 0,064 | 0,041  | 0,043  | +0,0066      |
| 5         | 0,085 | 0,180  | 0,187  | 0            |
| 10        | 0,129 | 0,372  | 0,389  | +0,013       |
| 15        | 0,203 | 0,530  | 0,565  | -0,007       |
| 20        | 0,299 | 0,661  | 0,723  | -0,0478      |
| 25        | 0,395 | 0,681  | 0,784  | -0,0902      |
| 30        | 0,417 | 0,588  | 0,718  | -0,0817      |
| 35        | 0,524 | 0,642  | 0,827  | -0,0955      |
| 40        | 0,641 | 0,661  | 0,918  | -0,116       |
| 45        | 0,748 | 0,661  | 0,996  | -0,130       |
| 50        | 0,801 | 0,627  | 1,016  | -0,143       |
| 55        | 0,855 | 0,564  | 1,024  | -0,150       |
| 60        | 0,908 | 0,511  | 1,042  | -0,161       |
| 90        | 1,060 | 0      | 1,060  | -0,235       |

Ruder Nr. 5.08

$\Lambda = 1,44$  **Tabelle 10**

$Re = 0,110 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|
| -2        | 0,063 | -0,100 | -0,102 | -0,0024      |
| 0         | 0,062 | 0      | 0      | -0,0018      |
| +2        | 0,080 | 0,080  | 0,083  | -0,0018      |
| 5         | 0,098 | 0,214  | 0,222  | -0,0018      |
| 7,5       | -     | -      | -      | -            |
| 10        | 0,143 | 0,408  | 0,427  | +0,0037      |
| 15        | 0,232 | 0,543  | 0,583  | +0,0113      |
| 20        | 0,330 | 0,623  | 0,698  | -0,0616      |
| 25        | 0,385 | 0,623  | 0,727  | -0,0835      |
| 30        | 0,429 | 0,526  | 0,670  | -0,0616      |
| 35        | 0,477 | 0,526  | 0,705  | -0,0616      |
| 40        | 0,623 | 0,473  | 0,763  | -0,0835      |
| 45        | 0,728 | 0,563  | 0,913  | -0,111       |
| 50        | 0,803 | 0,563  | 0,977  | -0,111       |
| 55        | 0,882 | 0,505  | 1,012  | -0,127       |
| 60        | 0,936 | 0,437  | 1,029  | -0,143       |
| 90        | 1,060 | 0      | 1,060  | -0,241       |

Ruder Nr. 5.51

$\Lambda = 1,0$  **Tabelle 16**

$Re = 0,135 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$ | $C_N$ | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|-------|-------|--------------|
| -2        | 0,048 | 0     | 0     | -0,0004      |
| 0         | 0,048 | 0,093 | 0,095 | +0,0009      |
| +2        | 0,073 | 0,210 | 0,216 | +0,014       |
| 5         | 0,129 | 0,405 | 0,421 | 0            |
| 10        | 0,243 | 0,607 | 0,649 | -0,022       |
| 15        | 0,388 | 0,838 | 0,920 | -0,068       |
| 20        | 0,570 | 1,035 | 1,179 | -0,113       |
| 30        | 0,777 | 1,190 | 1,341 | -0,169       |
| 32,5      | 0,887 | 1,270 | 1,548 | -0,190       |
| 35        | 1,010 | 1,310 | 1,652 | -0,208       |
| 37,5      | 1,110 | 1,340 | 1,739 | -0,227       |
| 40        | 0,817 | 0,895 | 1,211 | -0,172       |
| 42,5      | 0,878 | 0,858 | 1,226 | -0,177       |
| 50        | 0,995 | 0,765 | 1,254 | -0,195       |
| 60        | 1,125 | 0,611 | 1,280 | -0,204       |
| 90        | 1,270 | 0     | 1,270 | -0,263       |

Ruder Nr. 5.51.1

$\Lambda = 1,0$  **Tabelle 17**

$Re = 0,199 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|
| -2        | 0,023 | -0,093 | -0,093 | -0,0081      |
| 0         | 0,023 | 0      | 0      | 0            |
| +2        | 0,031 | 0,069  | 0,070  | 0            |
| 5         | 0,056 | 0,170  | 0,174  | 0            |
| 10        | 0,123 | 0,380  | 0,395  | -0,008       |
| 15        | 0,224 | 0,595  | 0,633  | -0,023       |
| 20        | 0,364 | 0,722  | 0,803  | -0,045       |
| 25        | 0,541 | 0,984  | 1,120  | -0,086       |
| 30        | 0,741 | 1,179  | 1,392  | -0,180       |
| 35        | 0,943 | 1,268  | 1,373  | -0,264       |
| 40        | 0,709 | 0,878  | 1,128  | -0,242       |
| 45        | 0,803 | 0,838  | 1,160  | -0,257       |
| 50        | 0,894 | 0,804  | 1,202  | -0,260       |
| 55        | 0,935 | 0,755  | 1,199  | -0,272       |
| 60        | 0,960 | 0,671  | 1,176  | -0,282       |
| 90        | 1,105 | 0      | 1,105  | -0,311       |

Ruder Nr. 5.09

$\Lambda = 0,693$  **Tabelle 11**

$Re = 0,133 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|
| -2        | 0,064 | -0,026 | -0,028 | 0            |
| 0         | 0,064 | 0      | 0      | 0            |
| +2        | 0,053 | 0,064  | 0,066  | -0,0067      |
| 5         | 0,091 | 0,167  | 0,174  | 0            |
| 10        | 0,129 | 0,257  | 0,275  | 0            |
| 15        | 0,167 | 0,476  | 0,503  | 0            |
| 20        | 0,333 | 0,616  | 0,693  | +0,0064      |
| 25        | 0,463 | 0,757  | 0,882  | -0,0263      |
| 30        | 0,642 | 0,885  | 1,087  | -0,0584      |
| 35        | 0,836 | 0,990  | 1,291  | -0,0917      |
| 40        | 1,057 | 1,107  | 1,527  | -0,125       |
| 45        | 1,197 | 1,050  | 1,589  | -0,177       |
| 50        | 0,900 | 0,640  | 1,101  | -0,137       |
| 55        | 0,958 | 0,576  | 1,110  | -0,150       |
| 60        | 0,993 | 0,500  | 1,109  | -0,164       |
| 90        | 1,145 | 0      | 1,145  | -0,248       |

Ruder Nr. 5.10

$\Lambda = 0,833$  **Tabelle 12**

$Re = 0,134 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|
| -2        | 0,053 | -0,053 | -0,055 | +0,0106      |
| 0         | 0,053 | -0,021 | -0,021 | +0,0706      |
| +2        | 0,075 | 0,064  | 0,067  | 0            |
| 5         | 0,086 | 0,160  | 0,167  | +0,0053      |
| 10        | 0,128 | 0,321  | 0,338  | 0            |
| 15        | 0,214 | 0,489  | 0,520  | -0,0106      |
| 20        | 0,291 | 0,607  | 0,669  | -0,0218      |
| 25        | 0,461 | 0,782  | 0,904  | -0,049       |
| 30        | 0,631 | 0,908  | 1,102  | -0,0869      |
| 35        | 0,825 | 1,001  | 1,294  | -0,125       |
| 40        | 1,051 | 1,112  | 1,527  | -0,163       |
| 45        | 0,792 | 0,685  | 1,044  | -0,134       |
| 50        | 0,836 | 0,598  | 1,025  | -0,135       |
| 55        | 0,899 | 0,559  | 1,057  | -0,152       |
| 60        | 0,942 | 0,471  | 1,051  | -0,163       |
| 90        | 1,122 | 0      | 1,122  | -0,250       |

Ruder Nr. 5.51.4

$\Lambda = 1,0$  **Tabelle 18**

$Re = 0,132 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|
| -2        | 0,067 | -0,048 | -0,050 | +0,005       |
| 0         | 0,067 | 0      | 0      | 0            |
| +2        | 0,077 | 0,056  | 0,059  | 0            |
| 5         | 0,114 | 0,167  | 0,176  | -0,005       |
| 10        | 0,235 | 0,326  | 0,362  | -0,025       |
| 15        | 0,282 | 0,494  | 0,550  | -0,043       |
| 20        | 0,450 | 0,660  | 0,774  | -0,081       |
| 25        | 0,598 | 0,830  | 1,005  | -0,138       |
| 30        | 0,758 | 0,939  | 1,197  | -0,167       |
| 35        | 0,896 | 1,004  | 1,336  | -0,201       |
| 40        | 0,852 | 0,806  | 1,165  | -0,184       |
| 45        | 0,896 | 0,737  | 1,155  | -0,189       |
| 50        | 0,972 | 0,737  | 1,218  | -0,210       |
| 55        | 1,082 | 0,680  | 1,276  | -0,223       |
| 60        | -     | 0,568  | -      | -0,223       |
| 90        | -     | 0      | -      | -0,262       |

Ruder Nr. 5.11

$\Lambda = 1,2$  **Tabelle 14**

$Re = 0,198 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|
| -2        | 0,038 | -0,053 | -0,054 | +0,002       |
| 0         | 0,040 | 0      | 0      | 0            |
| +2        | 0,040 | 0,038  | 0,039  | -0,002       |
| 5         | 0,076 | 0,179  | 0,185  | +0,006       |
| 10        | 0,139 | 0,355  | 0,374  | +0,012       |
| 15        | 0,223 | 0,514  | 0,554  | -0,0021      |
| 20        | 0,302 | 0,635  | 0,700  | -0,0244      |
| 25        | 0,447 | 0,809  | 0,922  | -0,0699      |
| 30        | 0,590 | 0,890  | 1,066  | -0,118       |
| 35        | 0,717 | 0,918  | 1,163  | -0,150       |
| 40        | 0,677 | 0,713  | 0,981  | -0,119       |
| 45        | 0,753 | 0,684  | 1,016  | -0,127       |
| 50        | 0,822 | 0,657  | 1,052  | -0,138       |
| 55        | 0,894 | 0,538  | 1,078  | -0,156       |
| 60        | 0,950 | 0,502  | 1,092  | -0,166       |
| 90        | 1,100 | 0      | 1,100  | -0,276       |

Ruder Nr. 5.11

$\Lambda = 1,0$  **Tabelle 13**

$Re = 0,134 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$ | $C_N$ | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|-------|-------|--------------|
| -2        | 0,038 | 0     | 0     | +0,0007      |
| 0         | 0,038 | 0     | 0     | 0            |
| +2        | 0,062 | 0,185 | 0,189 | 0            |
| 5         | 0,119 | 0,343 | 0,358 | +0,0007      |
| 10        | 0,233 | 0,481 | 0,525 | 0            |
| 15        | 0,310 | 0,626 | 0,694 | -0,0154      |
| 20        | 0,472 | 0,784 | 0,910 | -0,0668      |
| 25        | 0,577 | 0,833 | 1,010 | -0,113       |
| 30        | 0,666 | 0,794 | 1,032 | -0,122       |
| 35        | 0,710 | 0,695 | 0,988 | -0,109       |
| 40        | 0,772 | 0,638 | 0,997 | -0,113       |
| 45        | 0,860 | 0,622 | 1,059 | -0,122       |
| 50        | 0,933 | 0,574 | 1,093 | -0,140       |
| 60        | -     | -     | -     | -            |
| 90        | 1,075 | 0     | 1,075 | -0,220       |

Ruder Nr. 5.12

$\Lambda = 1,2$  **Tabelle 14**

$Re = 0,139 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|
| -2        | 0,037 | -0,067 | -0,068 | -0,0038      |
| 0         | 0,037 | 0,007  | 0,007  | +0,0077      |
| +2        | 0,052 | 0,096  | 0,098  | 0            |
| 5         | 0,067 | 0,215  | 0,220  | -0,0071      |
| 7,5       | -     | -      | -      | -            |
| 10        | 0,134 | 0,334  | 0,352  | +0,0077      |
| 12,5      | -     | -      | -      | -            |
| 15        | 0,208 | 0,544  | 0,579  | -0,0071      |
| 20        | 0,327 | 0,675  | 0,746  | -0,056       |
| 25        | 0,408 | 0,692  | 0,799  | -0,101       |
| 30        | 0,445 | 0,570  | 0,746  | -0,0825      |
| 35        | 0,557 | 0,631  | 0,836  | -0,101       |
| 40        | 0,648 | 0,638  | 0,905  | -0,113       |
| 45        | 0,749 | 0,630  | 0,981  | -0,124       |
| 50        | 0,847 | 0,588  | 0,987  | -0,146       |
| 55        | 0,884 | 0,527  | 0,926  | -0,154       |
| 90        | 1,069 | 0      | 1,069  | -0,241       |

Ruder Nr. 5.41

$\Lambda = 1,0$  **Tabelle 18**

$Re = 0,094 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|
| -2        | 0,039 | -0,059 | -0,060 | 0            |
| 0         | 0,020 | 0      | 0      | 0            |
| +2        | 0,056 | 0,038  | 0,040  | 0            |
| 5         | 0,056 | 0,194  | 0,198  | 0            |
| 10        | 0,132 | 0,422  | 0,439  | 0            |
| 15        | 0,230 | 0,633  | 0,671  | -0,0134      |
| 20        | 0,385 | 0,902  | 0,979  | -0,0547      |
| 25        | 0,554 | 1,113  | 1,243  | -0,0815      |
| 30        | 0,764 | 1,206  | 1,426  | -0,146       |
| 32,5      | 0,824 | 1,231  | 1,481  | -0,178       |
| 35        | 0,764 | 1,038  | 1,289  | -0,163       |
| 37,5      | 0,807 | 0,979  | 1,268  | -0,150       |
| 40        | 0,849 | 0,936  | 1,263  | -0,163       |
| 42,5      | 0,899 | 0,902  | 1,272  | -0,163       |
| 50        | 1,035 | 0,827  | 1,324  | -0,178       |
| 60        | 1,144 | 0,633  | 1,307  | -0,191       |
| 90        | 1,320 | 0      | 1,320  | -0,259       |

Ruder Nr. 5.42

$\Lambda = 1,2$  **Tabelle 19**

$Re = 0,0945 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|
| -2        | 0,021 | -0,001 | 0      | 0            |
| 0         | 0,021 | +0,001 | +0,010 | 0            |
| +2        | 0,053 | 0,061  | 0,063  | +0,010       |
| 5         | 0,071 | 0,219  | 0,224  | +0,010       |
| 10        | 0,134 | 0,416  | 0,433  | -0,012       |
| 15        | 0,229 | 0,633  | 0,670  | -0,039       |
| 20        | 0,376 | 0,905  | 0,979  | -0,082       |
| 25        | 0,530 | 1,050  | 1,176  | -0,138       |
| 27,5      | 0,593 | 1,070  | 1,223  | -0,171       |
| 30        | 0,628 | 1,000  | 1,180  | -0,195       |
| 32,5      | 0,628 | 0,928  | 1,120  | -0,171       |
| 35        | 0,657 | 0,905  | 1,118  | -0,174       |
| 40        | 0,770 | 0,894  | 1,180  | -0,184       |
| 50        | 0,980 | 0,808  | 1,270  | -0,206       |
| 60        | -     | -      | -      | -            |

Ruder Nr. 5.13

$\Lambda = 1,0$  **Tabelle 13**

$Re = 0,134 \cdot 10^6$

| $\beta^0$ | $C_W$ | $C_Q$  | $C_N$  | $C_{M,0,25}$ |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|
| -2        | 0,053 | -0,053 | -0,055 | +0,0106      |
| 0         | 0,053 | -0,021 | -0,021 | +0,0706      |
| +2        | 0,075 | 0,064  | 0,067  | 0            |
| 5         | 0,086 | 0,160  | 0,167  | +0,0053      |
| 10        |       |        |        |              |

Ruder Nr. 5.43  $\Lambda = 1,44$  **Tabelle 20**

Re = 0,094 · 10<sup>6</sup>

| B°   | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2   | 0,017          | -0,079         | -0,080         | 0                  |
| 0    | 0,017          | 0              | 0              | 0                  |
| +2   | 0,026          | 0,064          | 0,065          | 0                  |
| 5    | 0,082          | 0,198          | 0,204          | 0                  |
| 10   | 0,134          | 0,412          | 0,429          | -0,0185            |
| 15   | 0,263          | 0,648          | 0,654          | -0,0759            |
| 20   | 0,438          | 0,853          | 0,951          | -0,132             |
| 22,5 | 0,479          | 0,864          | 0,882          | -0,170             |
| 25   | 0,502          | 0,853          | 0,885          | -0,179             |
| 30   | 0,532          | 0,761          | 0,925          | -0,151             |
| 35   | 0,613          | 0,630          | 0,917          | -0,151             |
| 40   | 0,759          | 0,718          | 1,038          | -0,179             |
| 50   | 0,946          | 0,718          | 1,186          | -0,227             |
| 60   | 1,050          | 0,479          | 1,149          | -0,227             |
| 90   | 1,140          | 0              | 1,180          | -0,293             |

Ruder Nr. 5.44  $\Lambda = 1,75$  **Tabelle 21**

Re = 0,142 · 10<sup>6</sup>

| B°   | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2   | 0,018          | -0,093         | -0,093         | 0                  |
| 0    | 0,018          | 0              | 0              | 0                  |
| +2   | 0,023          | 0,070          | 0,071          | 0                  |
| 5    | 0,053          | 0,209          | 0,213          | +0,0084            |
| 10   | 0,135          | 0,405          | 0,422          | -0,0169            |
| 15   | 0,255          | 0,629          | 0,674          | -0,0632            |
| 20   | 0,422          | 0,861          | 0,953          | -0,139             |
| 22,5 | 0,487          | 0,925          | 1,041          | -0,168             |
| 25   | 0,511          | 0,890          | 1,023          | -0,185             |
| 30   | 0,532          | 0,725          | 0,977          | -0,151             |
| 35   | 0,593          | 0,707          | 0,919          | -0,156             |
| 40   | 0,712          | 0,743          | 1,027          | -0,173             |
| 50   | 0,959          | 0,717          | 1,195          | -0,206             |
| 60   | 1,030          | 0,527          | 1,155          | -0,219             |
| 90   | 1,210          | 0              | 1,310          | -0,290             |

Ruder Nr. 5.49  $\Lambda = 0,693$  **Tab. 26**

Re = 0,135 · 10<sup>6</sup>

| B°   | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2   | 0,021          | -0,026         | -0,027         | +0,004             |
| +1   | 0,044          | 0,026          | 0,027          | +0,011             |
| 6    | 0,074          | 0,199          | 0,205          | +0,011             |
| 11   | 0,138          | 0,374          | 0,393          | 0                  |
| 16   | 0,231          | 0,555          | 0,597          | -0,028             |
| 21   | 0,391          | 0,730          | 0,822          | -0,047             |
| 26   | 0,541          | 0,960          | 1,100          | -0,061             |
| 31   | 0,740          | 1,105          | 1,328          | -0,094             |
| 36   | 0,957          | 1,193          | 1,468          | -0,113             |
| 36,5 | 0,868          | 1,240          | 1,572          | -0,133             |
| 41   | 1,284          | 1,290          | 1,816          | -0,178             |
| 43,5 | 1,360          | 1,280          | 1,865          | -0,186             |
| 46   | 1,000          | 0,835          | 1,299          | -0,178             |
| 56   | 1,085          | 0,660          | 1,269          | -0,186             |
| 86   | 1,230          | 0              | 1,227          | -0,212             |

Ruder Nr. 5.50  $\Lambda = 0,833$  **Tabelle 27**

Re = 0,131 · 10<sup>6</sup>

| B° | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|----|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2 | 0,010          | -0,078         | -0,078         | 0                  |
| 0  | 0,010          | 0              | 0              | +0,006             |
| +2 | 0,016          | 0,067          | 0,068          | +0,011             |
| 5  | 0,027          | 0,157          | 0,159          | -0,021             |
| 10 | 0,106          | 0,325          | 0,338          | +0,011             |
| 15 | 0,218          | 0,437          | 0,479          | +0,001             |
| 20 | 0,332          | 0,705          | 0,783          | -0,035             |
| 25 | 0,532          | 0,862          | 1,006          | -0,051             |
| 30 | 0,752          | 1,030          | 1,258          | -0,087             |
| 35 | 0,934          | 1,210          | 1,527          | -0,133             |
| 40 | 1,180          | 1,270          | 1,731          | -0,180             |
| 45 | 0,970          | 0,885          | 1,312          | -0,164             |
| 50 | 1,045          | 0,808          | 1,319          | -0,174             |
| 55 | 1,140          | 0,717          | 1,345          | -0,185             |
| 60 | 1,230          | 0,593          | 1,362          | -0,185             |
| 90 | 1,290          | 0              | 1,290          | -0,226             |

Ruder Nr. 5.45  $\Lambda = 0,833$  **Tabelle 22**

Re = 0,110 · 10<sup>6</sup>

| B° | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|----|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2 | 0,022          | -0,090         | -0,091         | 0                  |
| 0  | 0,022          | 0,004          | 0,004          | 0                  |
| +2 | 0,022          | 0,060          | 0,061          | 0                  |
| 5  | 0,038          | 0,157          | 0,160          | 0                  |
| 10 | 0,103          | 0,318          | 0,331          | +0,009             |
| 15 | 0,199          | 0,511          | 0,545          | 0                  |
| 20 | 0,328          | 0,689          | 0,760          | -0,018             |
| 25 | 0,490          | 0,898          | 1,021          | -0,036             |
| 30 | 0,699          | 1,044          | 1,254          | -0,052             |
| 35 | 0,924          | 1,172          | 1,491          | -0,098             |
| 40 | 1,167          | 1,330          | 1,769          | -0,143             |
| 45 | 0,909          | 0,898          | 1,278          | -0,143             |
| 50 | 0,974          | 0,802          | 1,262          | -0,151             |
| 55 | 1,118          | 0,738          | 1,339          | -0,160             |
| 60 | 1,166          | 0,640          | 1,330          | -0,163             |
| 90 | 1,248          | 0              | 1,248          | -0,223             |

Ruder Nr. 5.46  $\Lambda = 1,0$  **Tabelle 23**

Re = 0,170 · 10<sup>6</sup>

| B°   | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2   | 0,028          | -0,111         | -0,112         | 0                  |
| 0    | 0,028          | 0,020          | 0,020          | +0,007             |
| +2   | 0,036          | 0,096          | 0,097          | +0,010             |
| 5    | 0,060          | 0,215          | 0,219          | +0,010             |
| 10   | 0,145          | 0,410          | 0,429          | 0                  |
| 15   | 0,247          | 0,518          | 0,661          | -0,021             |
| 20   | 0,403          | 0,832          | 0,920          | -0,0667            |
| 25   | 0,574          | 1,020          | 1,167          | -0,102             |
| 30   | 0,793          | 1,140          | 1,384          | -0,154             |
| 32,5 | 0,894          | 1,200          | 1,492          | -0,175             |
| 35   | 1,010          | 1,220          | 1,584          | -0,196             |
| 37,5 | 0,853          | 0,930          | 1,257          | -0,186             |
| 40   | 0,863          | 0,882          | 1,230          | -0,178             |
| 42,5 | 0,922          | 0,827          | 1,233          | -0,182             |
| 50   | 1,065          | 0,733          | 1,287          | -0,189             |
| 60   | 1,210          | 0,543          | 1,319          | -0,203             |
| 90   | 1,270          | 0              | 1,270          | -0,267             |

Ruder Nr. 5.52  $\Lambda = 1,2$  **Tabelle 28**

Re = 0,135 · 10<sup>6</sup>

| B°   | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2   | 0,024          | -0,098         | -0,099         | +0,002             |
| 0    | 0,024          | -0,011         | -0,011         | +0,006             |
| +2   | 0,037          | 0,067          | 0,068          | +0,013             |
| 5    | 0,061          | 0,219          | 0,223          | +0,013             |
| 7,5  | 0,085          | 0,321          | 0,329          | +0,013             |
| 10   | 0,115          | 0,411          | 0,425          | -0,0015            |
| 15   | 0,230          | 0,651          | 0,688          | -0,039             |
| 20   | 0,385          | 0,881          | 0,960          | -0,094             |
| 25   | 0,544          | 1,060          | 1,191          | -0,153             |
| 27,5 | 0,615          | 1,020          | 1,277          | -0,183             |
| 30   | 0,693          | 1,120          | 1,316          | -0,213             |
| 35   | 0,723          | 0,965          | 1,205          | -0,208             |
| 40   | 0,767          | 0,905          | 1,186          | -0,179             |
| 50   | 1,000          | 0,827          | 1,298          | -0,198             |
| 60   | 1,090          | 0,628          | 1,258          | -0,213             |
| 90   | 1,280          | 0              | 1,280          | -0,281             |

Ruder Nr. 5.53  $\Lambda = 0,346$  **Tabelle 29**

Re = 0,203 · 10<sup>6</sup>

| B° | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|----|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2 | 0,023          | -0,053         | -0,054         | 0                  |
| 0  | 0,023          | 0              | 0              | 0                  |
| +2 | 0,023          | 0,053          | 0,054          | 0                  |
| 5  | 0,023          | 0,107          | 0,109          | +0,013             |
| 10 | 0,077          | 0,213          | 0,223          | 0                  |
| 15 | 0,136          | 0,355          | 0,378          | 0                  |
| 20 | 0,266          | 0,568          | 0,625          | -0,026             |
| 25 | 0,403          | 0,745          | 0,846          | -0,039             |
| 30 | 0,615          | 0,888          | 1,077          | -0,079             |
| 35 | 0,835          | 1,077          | 1,361          | -0,092             |
| 40 | 1,075          | 1,100          | 1,534          | -0,106             |
| 45 | 1,184          | 1,100          | 1,615          | -0,119             |
| 50 | 1,257          | 0,977          | 1,591          | -0,159             |
| 55 | 1,160          | 0,722          | 1,364          | -0,199             |
| 60 | 1,160          | 0,616          | 1,313          | -0,199             |
| 90 | 1,184          | 0              | 1,184          | -0,252             |

Ruder Nr. 5.47  $\Lambda = 1,0$  **Tabelle 24**

Re = 0,112 · 10<sup>6</sup>

| B°   | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2   | 0,014          | -0,068         | -0,068         | 0                  |
| 0    | 0,024          | 0              | 0              | 0                  |
| +2   | 0,024          | 0,087          | 0,088          | +0,013             |
| 5    | 0,056          | 0,209          | 0,213          | +0,015             |
| 7,5  | 0,065          | 0,330          | 0,336          | +0,013             |
| 10   | 0,111          | 0,442          | 0,455          | -0,007             |
| 15   | 0,209          | 0,652          | 0,684          | -0,033             |
| 20   | 0,365          | 0,886          | 0,957          | -0,085             |
| 25   | 0,544          | 1,030          | 1,163          | -0,143             |
| 27,5 | 0,612          | 1,040          | 1,205          | -0,170             |
| 30   | 0,676          | 1,000          | 1,204          | -0,190             |
| 35   | 0,720          | 0,875          | 1,130          | -0,164             |
| 40   | 0,822          | 0,861          | 1,188          | -0,164             |
| 50   | 1,030          | 0,788          | 1,296          | -0,176             |
| 60   | 1,130          | 0,588          | 1,273          | -0,183             |
| 90   | 1,290          | 0              | 1,290          | -0,249             |

Ruder Nr. 5.48  $\Lambda = 1,44$  **Tabelle 25**

Re = 0,170 · 10<sup>6</sup>

| B° | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|----|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2 | 0,018          | -0,089         | -0,090         | -0,003             |
| 0  | 0,018          | 0              | 0              | 0                  |
| +2 | 0,025          | 0,089          | 0,090          | +0,006             |
| 5  | 0,043          | 0,212          | 0,215          | +0,013             |
| 10 | 0,090          | 0,341          | 0,350          | +0,006             |
| 15 | 0,158          | 0,455          | 0,472          | -0,006             |
| 20 | 0,221          | 0,642          | 0,677          | -0,029             |
| 25 | 0,356          | 0,889          | 0,957          | -0,082             |
| 30 | 0,514          | 1,075          | 1,191          | -0,134             |
| 35 | 0,622          | 1,130          | 1,266          | -0,163             |
| 40 | 0,646          | 0,978          | 1,172          | -0,171             |
| 50 | 0,730          | 0,936          | 1,186          | -0,166             |
| 60 | 0,938          | 0,878          | 1,283          | -0,183             |
| 90 | 1,020          | 0,681          | 1,224          | -0,190             |

Ruder Nr. 5.49  $\Lambda = 1,44$  **Tabelle 25**

Re = 0,170 · 10<sup>6</sup>

| B°   | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2   | 0,016          | -0,064         | -0,065         | -0,0045            |
| 0    | 0,016          | 0              | 0              | 0                  |
| +2   | 0,025          | 0,064          | 0,065          | +0,0048            |
| 5    | 0,053          | 0,215          | 0,219          | +0,0073            |
| 10   | 0,115          | 0,390          | 0,404          | -0,0145            |
| 15   | 0,239          | 0,624          | 0,665          | -0,056             |
| 20   | 0,377          | 0,897          | 0,934          | -0,128             |
| 22,5 | 0,457          | 0,965          | 1,065          | -0,160             |
| 25   | 0,509          | 0,930          | 1,112          | -0,185             |
| 30   | 0,509          | 0,815          | 0,960          | -0,167             |
| 35   | 0,509          | 0,758          | 0,950          | -0,160             |
| 40   | 0,706          | 0,790          | 1,059          | -0,177             |
| 50   | 0,951          | 0,815          | 1,252          | -0,223             |
| 60   | 1,060          | 0,637          | 1,236          | -0,243             |
| 90   | 1,220          | 0              | 1,220          | -0,323             |

Ruder Nr. 5.50  $\Lambda = 0,833$  **Tabelle 27**

Re = 0,131 · 10<sup>6</sup>

| B° | C <sub>w</sub> | C <sub>q</sub> | C <sub>N</sub> | C <sub>MO,25</sub> |
|----|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| -2 | 0,010          | -0,078         | -0,078         | 0                  |
| 0  | 0,010          | 0              | 0              | +0,006             |
| +2 | 0,016          | 0,067          | 0,068          | +0,011             |
| 5  | 0,027          | 0,157          | 0,159          | -0,021             |
| 10 | 0,106          | 0,325          | 0,338          | +0,011             |
| 15 | 0,218          | 0,437          | 0,479          | +0,001             |
| 20 | 0,332          | 0,705          | 0,783          | -0,035             |
| 25 | 0,532          | 0,862          | 1,006          | -0,051             |
| 30 | 0,752          | 1,030          | 1,258          | -0,087             |
| 35 | 0,934          | 1,210          | 1,527          | -0,133             |
| 40 | 1,180          | 1,270          | 1,731          | -0,180             |
| 45 | 0,970          | 0,885          | 1,312          | -0,164             |
| 50 | 1,045          | 0,808          | 1,319          | -0,174             |
| 55 | 1,140          | 0,717          | 1,345          | -0,185             |
| 60 | 1,230          | 0,593          | 1,362          | -0,185             |
| 90 | 1,290          | 0              | 1,290          | -0,226             |

die klassische Strahlkorrektur für Windkanalmessungen. (Außer einem mit dem Anstellwinkel veränderlichen Düsenfaktor sind Korrekturen für symmetrische und unsymmetrische Strahldeformation, letztere aber nur für den sogenannten Linear- oder Wasserlinienanteil der Kräfte, anzubringen; bei u. U. zur richtigen Bewertung notwendigen Maßstabskorrekturen sind ebenfalls unterschiedliche Behandlungen von Wasserlinienanteil und Spantanteil der Kräfte erforderlich), werden diese Ergebnisse hier ohne irgendwelche weiteren Korrekturen mitgeteilt.

Sämtliche Ruder wurden mit einer für die Sicherung des Kurvenverlaufes notwendigen Anzahl von Ruderwinkeln im Bereich von -2° bis +60° und darüber hinaus auch für 90°, also bei Queranströmung, untersucht. Durchweg wurden alle Ruder bei zwei Geschwindigkeiten (etwa v = 20 und 30 m/s)

gemessen; die Reynoldszahl  $Re = \frac{v \cdot L}{\nu}$  lag dabei für die kleinen Ruder — etwas unterschiedlich entsprechend den Abmessungen — zwischen 0,09 und 0,2 · 10<sup>6</sup>, bei dem großen Ruder lag sie bei 0,57 und 0,81 · 10<sup>6</sup>.

Ganz besonders im Hinblick auf die spätere eigentliche Auswertung der Ergebnisse ist es notwendig, sämtliche Meßwerte tabellarisch festzuhalten (Tabellen 3 bis 29). An-

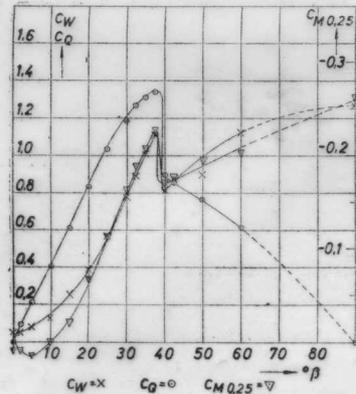


Abb. 30: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.51;  $\Lambda = 1,0$ ;  $Re = 0,135 \cdot 10^6$ ;  $c_W c_Q c_{M0,25} = f(\beta)$

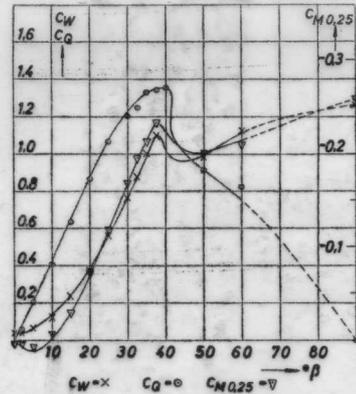


Abb. 31: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.51;  $\Lambda = 1,0$ ;  $Re = 0,196 \cdot 10^6$ ;  $c_W c_Q c_{M0,25} = f(\beta)$

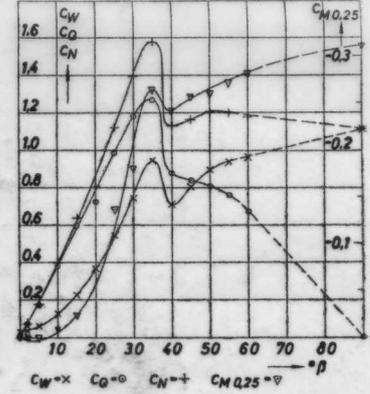


Abb. 32: Abgerundetes, dünnes Plattenruder 5.51.1;  $\Lambda = 1,0$ ;  $Re = 0,199 \cdot 10^6$ ;  $c_W c_Q c_N c_{M0,25} = f(\beta)$

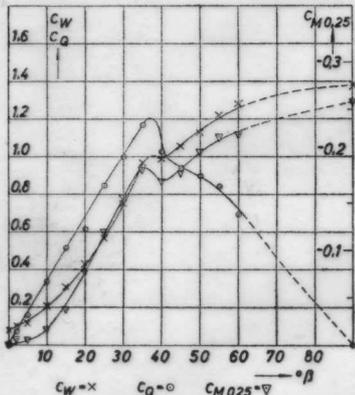


Abb. 33: Stumpfes, dickes Platten-Ruder 5.51.4;  $\Lambda = 1,0$ ;  $Re = 0,132 \cdot 10^6$ ;  $c_W c_Q c_N c_{M0,25} = f(\beta)$

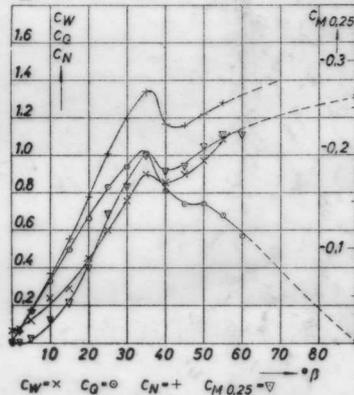


Abb. 34: Stumpfes, dickes Platten-Ruder 5.51.4;  $\Lambda = 1,0$ ;  $Re = 0,196 \cdot 10^6$ ;  $c_W c_Q c_{M0,25} = f(\beta)$

dererseits sollte durch Beschränkung auf Zahlenwerte die bildhafte Anschaulichkeit nicht verloren gehen; hierzu sollen die in Abb. 11 bis 62 gegebenen Kurven und Fotos als Beispiele dienen.

Die gemessenen Komponenten sind in Form der Beizahlen  $c_Q, c_W, c_N, c_{M0,25}$  für Querkraft, Widerstand, Normalkraft und Moment um die willkürlich auf  $1/4$  der Ruderlänge von vorn gelegte Ruderachse angegeben. Unter  $c_N$  sind diese Beizahlen in üblicher Weise definiert. Die Beizahl für die Normalkraft wurde aus

$$c_N = c_W \cdot \sin \beta + c_Q \cdot \cos \beta$$

bestimmt und zusätzlich mit angegeben, um die schnelle Beurteilung der Balanzierung der Ruder zu erleichtern.

In Tabelle 3 bis 15 und Abb. 11 bis 14 sind die Ergebnisse für die 7% dicken Plattenruder mit zugeschärften Vorder- und Hinterkanten niedergelegt (Modelle 5.01 bis 5.12 und 5.21, Abb. 1, 2). Für die Darstellung des Kennzahleinflusses sind in Abb. 15 die Beizahlen  $c_Q, c_W, c_M$  für einige Platten auch noch über der Reynoldszahl mit dem Anstellwinkel als Parameter dargestellt; Strömungsbilder sind in Abb. 16 bis 26 und Grenzschichtaufnahmen in Abb. 27 bis 29 gegeben.

Die Messungen zeigen, daß derart ausgeführte, dicke Platten als Ruder schlecht geeignet sind. Bei einem Anstellwinkel von  $0^\circ$  treten an der hinteren Zuschärfung schon vereinzelt Ablösungserscheinungen auf, was durch den großen Zuschärfungswinkel von  $9^\circ$  gegen die Mittellinie verständlich ist. (Vgl. Abb. 16). So ist ganz deutlich sichtbar, wie die Saugseitenströmung zuerst an der zugeschärften Hinterkante ablöst und wie sich von den spitzen Kanten aus fortlaufend sehr starke Wirbel bilden, die dann fortgespült werden, wenn sie über die Projektion der angestellten Platte hinausreichen. Die Auftriebsbeiwerte bleiben bei größeren Anstellwinkeln immer weit unter denen bisher untersuchter dünner Rechteckplatten [2], [3], [9]. Um festzustellen, ob dieser Effekt durch Dickeneinflüsse bedingt ist, oder ob er mehr oder minder von den Zuschärfungen herrührt, wurden die Plattenmodelle 5.51; 5.51.1 bis 5.51.4 (Abb. 3 und 4) ergänzend untersucht (Tabelle 16 und 17 und Abb. 30 bis 46). Nun zeigt sich, daß bei gleicher Dicke von 7% durch die Zuschärfung allein ein Quertriebsverlust am Maximum von 15 bis 25% eintritt. Geht man von der stumpfkantigen, dicken Platte zur stumpfkantigen, dünnen Platte ( $d/L = 0,015$ ) über, so ergibt sich wieder ein weiterer Querkraftverlust für die letztere. Infolge der scharfen Kanten zeigten sich auch hier bei Anstellwinkel zwischen  $5^\circ$ — $10^\circ$  bereits Ablöseerscheinungen; die Strömung legt sich jedoch vorübergehend dann noch immer wieder an (pendeln). Es bilden sich periodisch Wirbel, die nach hinten wegschwimmen. Ferner geht aus der Aufnahme, der unter  $90^\circ$  angestellten Platten (Abb. 42) hervor, daß der Staupunkt nicht genau in der Mitte liegt (siehe auch [1], S. 337), sondern er kann links oder rechts von der Mitte liegen, je nachdem von welcher

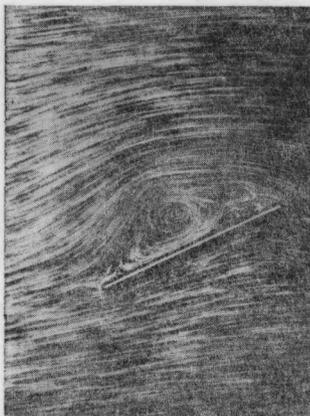


Abb. 35: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 25^\circ$

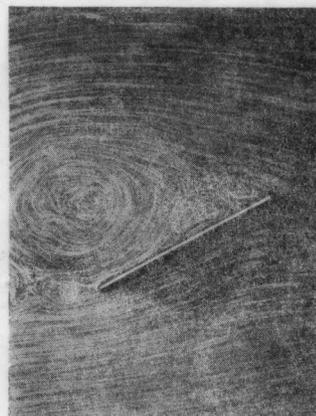


Abb. 36: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 27,5^\circ$

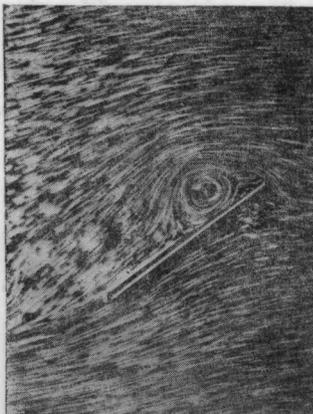


Abb. 37: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 35^\circ$  (Anfahrzustand)

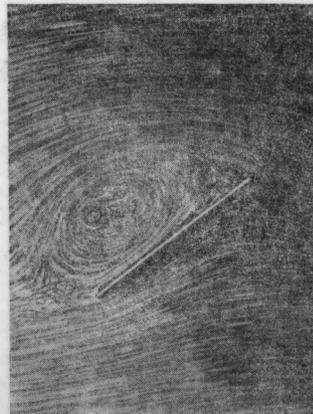


Abb. 38: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 35^\circ$  (Endzustand)



Abb. 39: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 37,5^\circ$

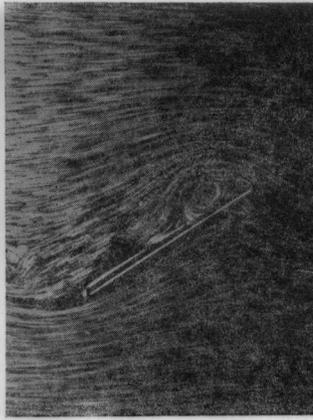


Abb. 40: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 40^\circ$

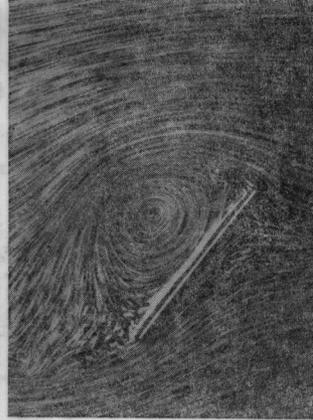


Abb. 41: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 50^\circ$

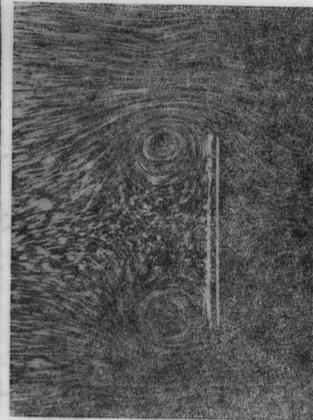


Abb. 42: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 90^\circ$  (Anfahrzustand)

Seite die Anstellung erfolgt (Indifferenzerscheinung), was eine gewisse Streuung der Momentenmeßergebnisse zur Folge hat.

Aus den Momentenbeiwerten ergibt sich, daß die dicke, zugeschärfte Platte viel stärker überbalanciert ist als die — dünnen und dicken — stumpfen Platten; das bedeutet, daß der Druckpunkt bei jener weiter vor dem Plattendrehpunkt von  $0,25 \cdot L$  liegt. Auch bei größeren Anstellwinkeln erreicht der Momentenbeiwert kaum den der stumpfen Platten, was auch darauf hindeutet, daß an der Saugseite hinten sehr früh stärkere Ablösung auftritt. Die vorgenannte Erscheinung macht sich auch bei der Messung durch Streuen der Ergebnisse störend bemerkbar. Der Widerstand der dicken, zugeschärfen Platte ist bei größeren Anstellwinkeln geringer als der der stumpfen Platten.

Der Einfluß des Schaftes macht sich nur dann im Grenzschichtbild störend bemerkbar, wenn er über das Ruderblatt übergreift (Abb. 27), wie bei einigen der von uns untersuchten Modelle (Mod. 5.01 bis 5.08). In den anderen Fällen wird zwar die Grenzschichtströmung durch den über der Ruderoberkante liegenden Schaft etwas beeinflusst (Abb. 46), aber die Änderung der Kräfte und Momente infolge möglicher Störung der Seitenkantenumströmung lag innerhalb der Meßgenauigkeit.

Der Einfluß der Form der An- und Abströmkannten an einer dünnen Rechteckplatte mit  $d/L = 1,5\%$  und mit einem Seitenverhältnis von  $\Lambda = 1,0$  ist durch die Modelle 5.51; 5.51.1 bis 5.51.3 untersucht. Es stellte sich heraus, daß bei diesen dünnen Platten ein- bzw. zweiseitige Zuschärfung keinen meßbaren Einfluß gegenüber der stumpfen Platte aufweisen. Anders sieht es bei der Platte mit halbkreisförmig profilierter An- und Abströmkannte aus (Mod. 5.51.1). Hier liegen die Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte etwas unter denen der stumpfen Platte. Bei den Momentenbeiwerten zeigen die Abweichungen eine wechselnde Tendenz. Die nach dem Vorstehenden sich als einfach und wirksam erwiesene ebene dünne Platte mit stumpfen Kanten wurde dann für alle im Rahmen dieses Forschungsvorhabens notwendigen Abmessungen (Modell 5.41 bis 5.51, 5.52 und 5.53, Abb. 3) untersucht. Für diese „Standard“-Form sind die Ergebnisse der Kraftmessungen in den Tabellen 18 bis 29 und 16 tabelliert, in Abb. 30, 31 und Abb. 47 bis 58 als Polare und teilweise in Abb. 59 bis 61 über der Re-Zahl dargestellt. Entsprechende Strömungsaufnahmen enthalten die Abb. 35 bis 42; ein Grenzschichtbild gibt Abb. 46.

### E. Folgerungen

Es ist leider nicht gelungen, mit einer statisch problemlosen Ausführung von Plattenrudern (relative Dicke von etwa 7%) auch nur annähernd die Eigenschaften „hydrodynamisch dünner“ Platten zu erreichen. Bei einer Dicke von 1,5% jedoch kann unter Verzicht auf feinere Profilierung mit einer einfachen stumpfen Form dieses Ziel gut erreicht werden,

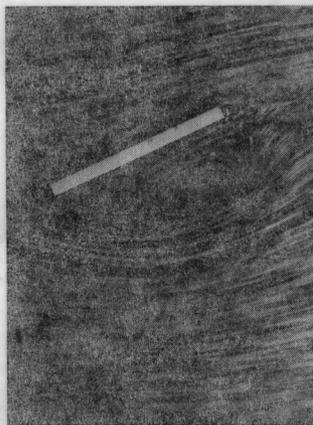


Abb. 43: Stumpfes, dickes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 25^\circ$

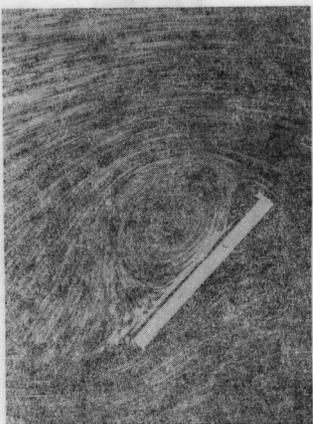
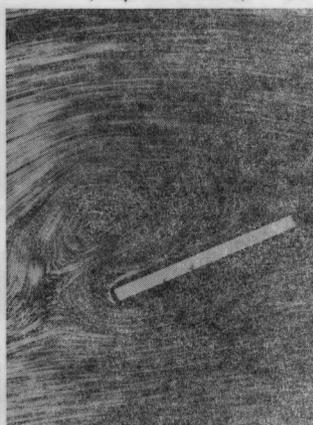


Abb. 44: Stumpfes, dickes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 50^\circ$

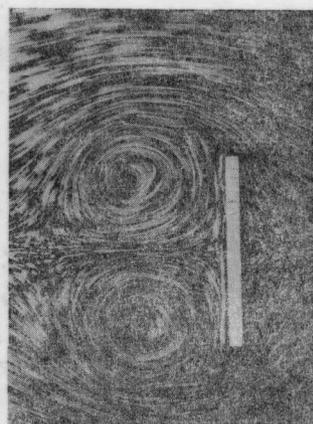


Abb. 45: Stumpfes, dickes Platten-Ruder, Strömungsaufnahme bei  $\beta = 90^\circ$  (Anfahrzustand)

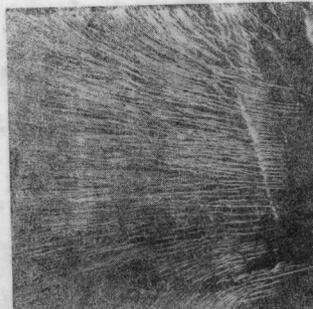
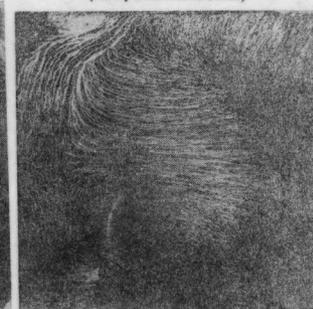


Abb. 46: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.51;  $\Lambda = 1,0$ ; Links Druckseite, rechts Saugseite



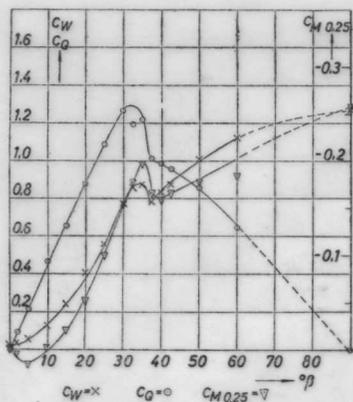


Abb. 47: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.41;  $\Lambda = 1,0$ ;  $Re = 0,140 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

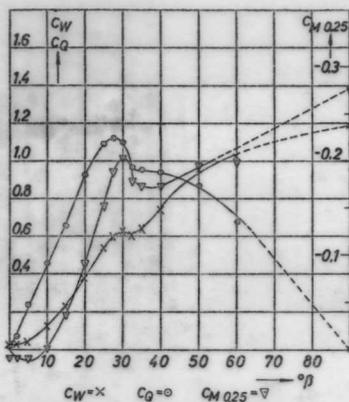


Abb. 48: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.42;  $\Lambda = 1,2$ ;  $Re = 0,139 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

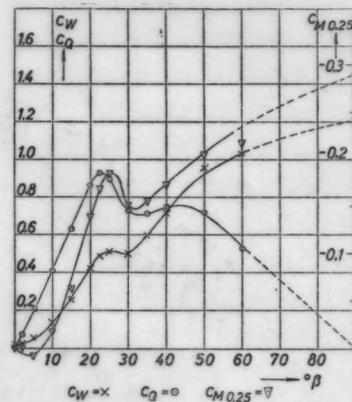


Abb. 49: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.43;  $\Lambda = 1,44$ ;  $Re = 0,142 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

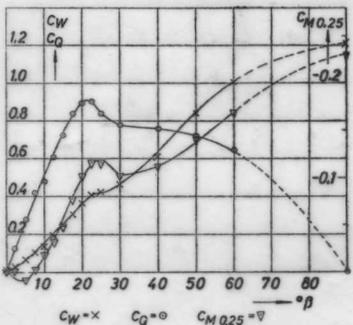


Abb. 50: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.44;  $\Lambda = 1,73$ ;  $Re = 0,141 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

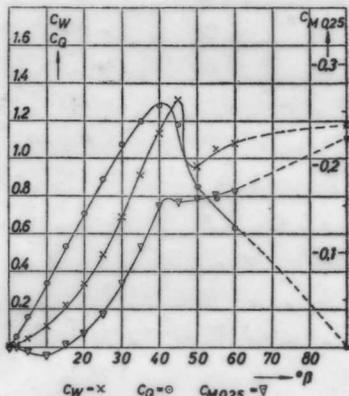


Abb. 51: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.45;  $\Lambda = 0,833$ ;  $Re = 0,164 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

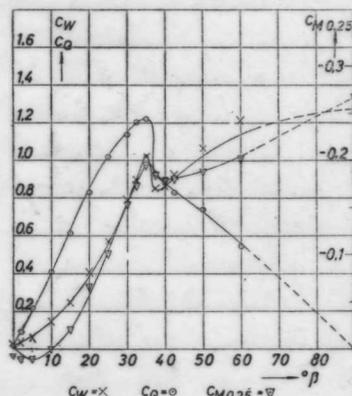


Abb. 52: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.46;  $\Lambda = 1,0$ ;  $Re = 0,170 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

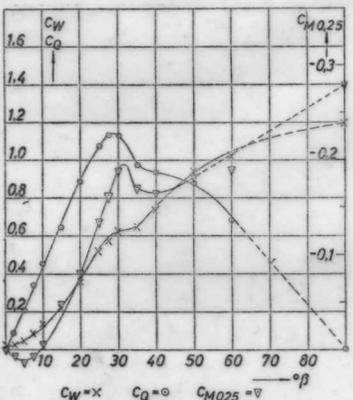


Abb. 53: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.47;  $\Lambda = 1,2$ ;  $Re = 0,168 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

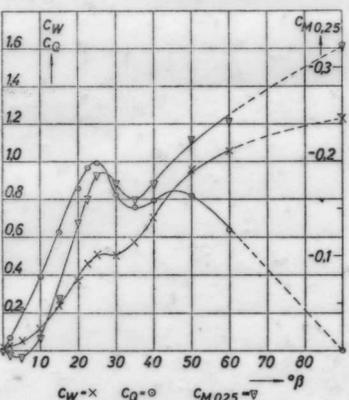


Abb. 54: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.48;  $\Lambda = 1,44$ ;  $Re = 0,170 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

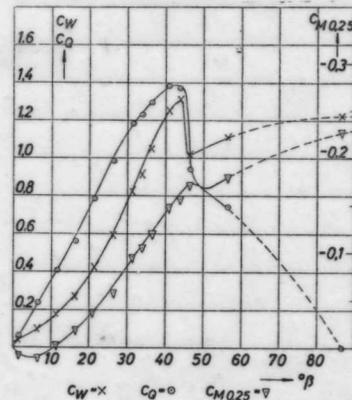


Abb. 55: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.49;  $\Lambda = 0,693$ ;  $Re = 0,202 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

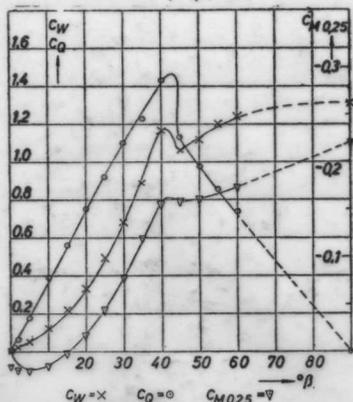


Abb. 56: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.50;  $\Lambda = 0,833$ ;  $Re = 0,199 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

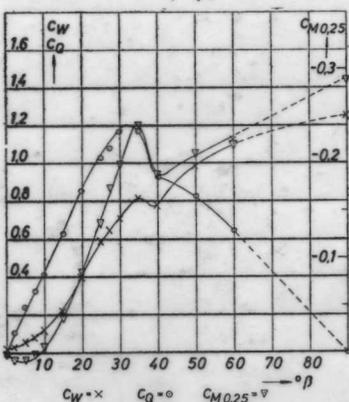


Abb. 57: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.52;  $\Lambda = 1,2$ ;  $Re = 0,200 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

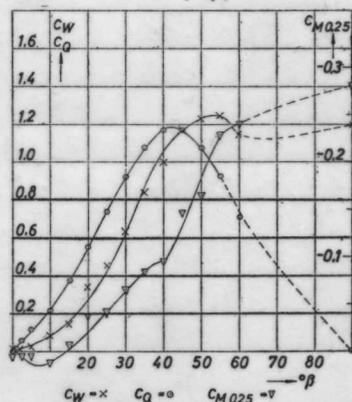


Abb. 58: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder 5.53;  $\Lambda = 0,346$ ;  $Re = 0,203 \cdot 10^6$ ;  $c_W$   $c_Q$   $c_{M0,25} = f(\beta)$

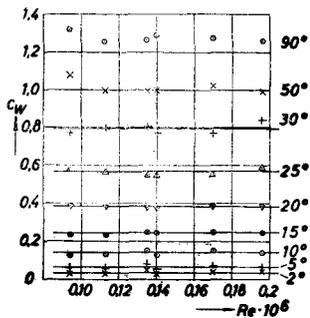


Abb. 59: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder;  $\lambda = 1,0$ ;  $c_W$  (Re)

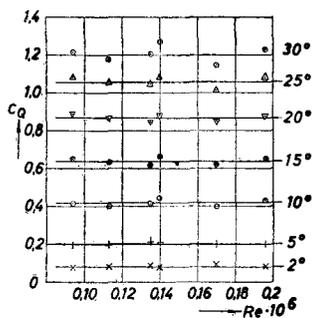


Abb. 60: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder;  $\lambda = 1,0$ ;  $c_Q$  (Re)

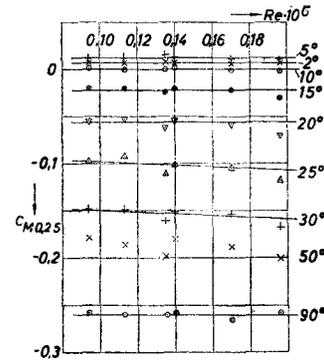


Abb. 61: Stumpfes, dünnes Platten-Ruder  $\lambda = 1,0$ ;  $c_{M0,25}$  (Re)

wie ein Vergleich dieser Ergebnisse mit früheren Versuchen z. B. von Flachsbarth [2] in Abb. 62 zeigt.

Das durchgeführte Programm bringt die Eigenschaften der Plattenruder im unbegrenzten Medium als notwendige erste Grundlagen, auf denen weitere Untersuchungen über Ruder- und Steuereigenschaften aufgebaut werden; die Untersuchung der Eigenschaften von Rudern in durch freie Wasseroberfläche, Strahlengrenzen oder Körpernachbarschaft beeinflusster Strömung ist die in diesem Sinne nächste Ergänzung.

### F. Literatur

- [1] Eck, B.: Technische Strömungslehre. Springer Verlag 1958.
- [2] Flachsbarth, O.: Messungen an ebenen und gewölbten Platten. Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, IV. Lieferung, S. 96.
- [3] Föppl, O.: Der Winddruck auf ebene, schräg gestellte Platten von verschiedenem Seitenverhältnis. Mitteilungen von der A.V.A. Göttingen, 1. Folge, S. 1.
- [4] Prandtl, L.: The mechanics of viscous fluids. Aerodynamic Theory Vol. III, Div. G. by W. F. Durand, Berlin 1935.
- [5] Remmers, K.: Meßtechnik für Ruderversuche und für die Erprobung der Drehfähigkeit und Kursstabilität von Schiffen. HJV-Bericht Nr. 41, 1950.
- [6] Thiemann, H.: Erfahrungen mit pneumatischen Druckdosen. IfS-Bericht Nr. 52, 1959.
- [7] Thieme, H.: Zur Behandlung von Ruderproblemen. „Schiff und Hafen“ 1959, S. 605.
- [8] Wieghardt, K.: Der Windkanal des Instituts für Schiffbau der Universität Hamburg. IfS-Bericht Nr. 26, 1956 (erster Bericht vom 20. 1. 1955 „Schiff und Hafen“ 1955, S. 81).
- [9] Winter, H.: Strömungsvorgänge an Platten und profilierten Körpern bei kleinen Spannweiten. Forschung 1935, S. 40.

### G. Symbole

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| $D_0$ —                           | Vorkammerdurchmesser   |
| $D_{S1}$ —                        | Düsenaustrittsdurchmesser = Strahldurchmesser bei der großen Düse  |
| $D_{S2}$ —                        | Düsenaustrittsdurchmesser = Strahldurchmesser bei der kleinen Düse |
| $F = L \cdot H$                   | Modell-Ruder-Fläche  |
| $F_S = \frac{\pi \cdot D_S^2}{4}$ | Düsenaustrittsfläche   |
| $H$ —                             | Ruderhöhe  |
| $L$ —                             | Ruderlänge   |
| $L_{D2}$ —                        | Kontraktionslänge der kleinen Düse                                 |
| $M_{0,25}$ —                      | Moment, hier auf eine Ruderdrehachse bei 0,25 · L bezogen          |
| $N$ —                             | Normalkraft  |
| $P_s$ —                           | statischer Druck im Strahlkern                                     |
| $Q$ —                             | Querkraft  |
| $Re = \frac{v \cdot L}{\nu}$      | Reynolds-Zahl  |

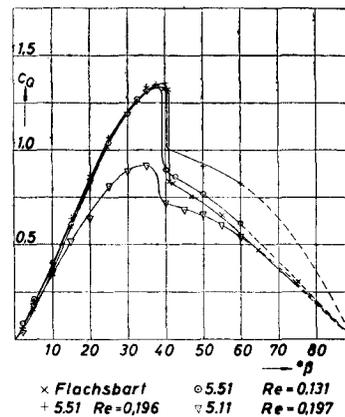


Abb. 62: Vergleich verschiedener Messungen an dünnen Plattenrudern;  $\lambda = 1$ ;  $c_Q$  ( $\beta$ )

|  |   |
|--|---|
| TF —   | Turbulenzfaktor   |
| W —  | Widerstand  |
| $W_1$ und $W_2$ —                                | Komponenten des Widerstands                               |
| a, b —   | Hebelarme der Widerstandskomponenten                      |
| c —  | Federkonstante  |
| $c_{M0,25} = \frac{M_{0,25}}{q \cdot F \cdot L}$ | Momenten-Beiwert  |
| $c_N = \frac{N}{q \cdot F}$                      | Normalkraft-Beiwert                                       |
| $c_Q = \frac{Q}{q \cdot F}$                      | Querkraft-Beiwert   |
| $c_W = \frac{W}{q \cdot F}$                      | Widerstandsbeiwert  |
| d —  | Plattendicke  |
| m —  | Maße von Modell und Aufhängung                            |
| $P_0$ —  | statischer Druck in der Vorkammer des Windkanals          |
| $q = \frac{\rho}{2} \cdot v^2$                   | mittlerer Staudruck in der Meßstrecke des Windkanals      |
| v —  | Strömungsgeschwindigkeit in der Meßstrecke des Windkanals |
| x —  | Abstand vom Düsenaustritt                                 |
| $\Delta_{pD}$ —                                  | Druckabfall in der Düse                                   |
| $\lambda = H^2/F$                                | Seitenverhältnis der Plattenruder                         |
| $\beta$ —  | Ruderwinkel = Anstellwinkel                               |
| $\nu$ —  | kinematische Zähigkeit                                    |
| $v_0$ —  | Eigenfrequenz   |
| $\rho$ —   | Dichte des Mediums  |