

10 | 1955

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

H. Thieme

### Zur Behandlung von Ruderproblemen

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

# Zur Behandlung von Ruderproblemen

von H. Th i e m e

Bericht des Instituts für Schiffbau der Universität Hamburg

Die bei Entwurf und Berechnung von Rudern auftretenden hydrodynamischen Fragen entziehen sich teilweise noch immer einer befriedigenden Einsicht in die physikalischen Zusammenhänge. Weitgehend fehlen noch praktisch verwendbare Rechenverfahren für den Entwurf. Hieraus ergibt sich ein weites Feld für weitere Arbeiten auf diesem Gebiet. Es zeigt sich neben der Notwendigkeit neuer Untersuchungen insbesondere auch der Nutzen der Auswertung früherer Arbeiten, deren theoretisch befriedigende und praktisch effektvolle Verwendung bisher meist unterblieben zu sein scheint. Als Nebenerzeugnis des Quellenstudiums zu dieser Aufgabe ergibt sich auch ein weit gefaßtes Verzeichnis experimenteller Ergebnisse zum Ruderproblem sowie ein ausführliches Literaturverzeichnis zum Thema Ruder.

I. Anlaß und Ziel der Arbeit.

II. Hydrodynamische Eigenschaften von Rudern.

III. Methode und Beispiel für die Analyse bisheriger experimenteller Arbeiten.

IV. Verzeichnis von Ruderversuchen.

V. Schrifttum zum Thema Ruder.

## I. Anlaß und Ziel der Arbeit.

Am Beginn der Arbeiten zu einem Forschungsvorhaben steht die Sichtung der Probleme und des hierzu bereits vorliegenden Materials sowie die Klärung der Methoden, dieses Material auszuwerten. Am Ende dieser Vorarbeiten zum Ruderproblem zeigt sich nun, daß bisher in keiner Veröffentlichung eine eingehende Bibliographie des Ruderschrifttums zu finden ist und daß ebenfalls keine Veröffentlichung über eine systematische Auswertung von Ruderversuchen vorliegt; ebenso fehlen Hinweise über zweckmäßige Verfahren zur Analyse solcher Versuche, ganz abgesehen von einer umfassenden Darstellung der Ruderprobleme überhaupt. Diese Beobachtungen verstärken den Eindruck, daß Forschungsarbeiten zum Thema Ruder — wenn überhaupt — bisher nur zum internen Dienstgebrauch durchgeführt worden sind. Da also keine ähnlichen Untersuchungen als Vorbild oder auch nur Anhaltspunkt zur Verfügung standen, so mußte bereits auf die Methodik der Vorarbeiten ein besonderes Gewicht gelegt werden. Wegen der erwähnten gewissen Neuartigkeit des Vorhabens dürfte darum auch diesen Vorarbeiten ein etwas stärkeres Interesse als gewöhnlich zukommen. So erscheint es also nützlich, den Abschluß dieser Vorarbeiten zum Anlaß zu nehmen, zunächst einmal die hydrodynamischen Probleme des Schiffsruders zu diskutieren sowie eine Sammlung von Nachweisen für Rudermessungen und Ruderschrifttum insgesamt zu geben. Die genannten Ziele bedingen nun bereits einen gewissen Umfang und bilden auch einen geschlossenen Komplex mit Nutzenanwendung für weitere experimentelle und theoretische Arbeiten zum Ruderproblem, so daß ein Bericht hierüber in der hier vorliegenden Form an den Anfang weiterer Arbeiten gestellt werden soll. Dank der umsichtigen Hilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft konnte dieser Bericht im Institut Prof. Weinblum entstehen und weitere Arbeiten zum gleichen Thema in Angriff genommen werden.

## II. Hydrodynamische Eigenschaften von Rudern

Die hydrodynamischen Eigenschaften eines Ruders werden nicht nur in recht mannigfacher Weise durch die reiche Vielfalt der vielen möglichen Ruderformen bestimmt, sondern sie unterliegen noch weiter dem Einfluß der ebenfalls recht vielgestaltigen Strömungs- und Ortsbedingungen, die für das Ruder gelten. Diese Einflußgrößen sind daher so zahlreich, daß bei einer unschematischen, einfachen Aneinanderreihung der Probleme eine entweder höchst unvollkommene oder recht unübersichtliche Diskussion der einzelnen Punkte das Ergebnis sein wird. Dies mag wohl anschaulich werden, wenn man bedenkt, daß ein Ruder für sich schon — als Körper kleinen

Seitenverhältnisses — kompliziertere hydrodynamische Eigenschaften aufweist, als es z. B. bei einem „verwandten“ Flugzeugtragflügel der Fall ist, der ja auch bereits nicht gerade als sehr einfach gilt. Nun arbeitet dieses Ruder noch in der Nähe einer freien Wasseroberfläche oder durchdringt sie u. U. sogar, es unterliegt weiter der Beeinflussung des Schiffsnachstromes und zu allermeist auch der des mit Drall behafteten Propellerstrahles. Weiter ist noch eine Drehkreisfahrt oder sogar beliebige instationäre Seitenbewegung des das Ruder tragenden Schiffes in Betracht zu ziehen und schließlich kann die Veränderung der Ruderlage relativ zum Schiff zeitlich recht allgemein verlaufen. Betrachtet man nun Abhandlungen über Ruderprobleme, deren Zahl im Gegensatz zu den Veröffentlichungen über andere Aufgaben der Schiffstheorie ohnehin recht gering ist, so wird man wohl das oben Gesagte bestätigt finden; die Arbeiten erwähnen entweder nur eine sehr beschränkte Anzahl der Probleme oder aber der Gesamteindruck der nicht sehr übersichtlichen Behandlung ist nur der, daß die spärlichen, quantitativen Ergebnisse in ihrer Anwendung noch dazu recht bedingt bzw. fragwürdig sind. Als dritten Beleg für die Vielgestaltigkeit der Probleme und die dadurch bedingte Rückständigkeit in der Qualität der Erkenntnisse kann vielleicht gelten, daß gerade diese Erkenntnismängel eine ungewöhnlich große Anzahl von Ruderpatenten und Ausführungsformen hervorgebracht haben.

Für jede Ruder-Forschungsarbeit besteht also die Gefahr — falls man durch zu weit gehende Vereinfachungen die Anwendbarkeit der Ergebnisse nicht in Frage stellen will —, im Gestrüpp der unsortierten, zahlreichen Probleme hängen zu bleiben, ehe ein für die Entwurfspraxis brauchbares Ergebnis erzielt werden kann. Um dieser Gefahr zu entgehen, kann man sich einer sachlich möglichst sinnvoll aufgebauten Gliederung des gesamten Gebietes der Strömungstechnik von Schiffsrudern bedienen. Eine systematische Bearbeitung dieses gesamten Gebietes wird darauf wohl nicht verzichten können. Diese Absicht liegt jedoch dem mit diesem Bericht verbundenen Forschungsvorhaben nicht zugrunde. Wegen der Beschränkung auf einige der Probleme genügt es, statt der ungeheuer umfangreichen gesamten Gliederung des Gebietes lediglich die Gliederungsgesichtspunkte aufzuzählen und zum Leitfaden für die kurze Besprechung der Probleme zu machen. Diese hier nun folgende Aufzählung der Gliederungsgesichtspunkte soll der Übersicht über den Kontakt der einzelnen Probleme miteinander dienen, der in der nachfolgenden kurzen Diskussion allein wohl kaum anschaulich zu machen sein dürfte. Die Übersicht beschränkt sich ebenso wie die anderen Teile dieses Berichtes allein auf die Strömungstechnik des Schiffsruders in seiner — wie man im Hinblick auf z. B. das Aktivruder oder die drehbare Kortdüse sagen kann — passiven Form.

**Gliederungsgesichtspunkte** für die Strömungstechnik der Ruder (gekennzeichnet entspr. der weiteren Erwähnung in diesem Bericht).

- a) Strömung mit der Möglichkeit von Kavitation und Aeration.
- b) Inkompressible Strömung.
- c) Instationäre Relativanströmung.
- d) Stationäre Längsanströmung.
- e) Stationäre Queranströmung.
- f) Allgemeine stationäre Anströmung.
- g) Nähe einer festen Wand, des Schiffes oder des Gewässergrundes.
- h) Nachbarschaft anderer Ruder.
- i) Mit Propellerstrahl und Nachstrom des Schiffes.
- k) In der Nähe der Wasseroberfläche.
- l) An der Wasseroberfläche.
- m) Unbegrenztes Wasser.

- n) Ruder mit fester Flosse, Leitkopf oder Vorflügel.
- o) Ruder mit Endscheiben, Ringruder, Kastenruder.
- p) Voll bewegliches Ruder.
- q) Seitenverhältnis (Höhenquadrat durch Fläche)  $\Lambda$  von 0,5 bis 3.
- r) Allgemeines Seitenverhältnis  $\Lambda$  von 0 bis  $\infty$ .
- s) Plattenruder.
- t) Profiliruder.
- u) Rechteckumriß.
- v) Trapezumriß.
- w) Dreieckumriß.
- x) Ellipsenumriß.
- y) Allgemeiner Umriß.
- z) Glatte Oberfläche.
- A) Rauhe und sonstige Oberfläche.
- B) Gesunde Strömung, ohne quantitativ wichtige Ablösung.
- C) Strömung mit Ablösung in quantitativ wichtigem Umfang.
- D) Laminare Strömung.
- E) Laminar-turbulente Strömung.
- F) Turbulente Strömung.
- G) Grenzschicht am Ruder.
- H) Geschwindigkeitsverteilung an der Ruderoberfläche.
- J) Strömungsfeld um das Ruder.
- K) Strömungskräfte am Ruder.

a) Kavitation und Aeration stehen mit den Problemen k) bzw. l) und H) in engem Kontakt. Nur für kleine und sehr schnelle Fahrzeuge stellt die Ruder kavitation ein Problem dar. Neben der Kenntnis der Verdampfungseigenschaften des in Betracht kommenden Wassers ist die der Druckverteilungsspitzen an der Ruderoberfläche wichtig. Hierbei (H) ist nur zu beachten, daß Rechenmethoden und experimentelle Ergebnisse für die Druckverteilung sich fast durchweg nur auf unendliches Seitenverhältnis beziehen. Bei den Seitenverhältnissen des Ruders (q) ergibt sich demgegenüber eine vorteilhafte Verminderung dieser Spitzen. Unterlagen hierüber sind zur Zeit noch auf elliptische Formen beschränkt. Zu Aeration am Ruder wird es nur in noch spezielleren Fällen kommen. Bei relativ großen Rudern dicht unter der Wasseroberfläche kann sich bei hohen Geschwindigkeiten, wenn der Atmosphärendruck im Druckminimum des Ruders unterschritten, der Dampfdruck aber noch nicht erreicht ist, eine instabile Druckverteilung in der Vertikalen im Druckfeld über dem Ruder ergeben, die so zum Lufteinbruch führt. Wegen der beschränkten Spezialität des Problems sind eingehendere Untersuchungen hierzu offenbar noch nicht veranlaßt gewesen.

b) Die inkompressible Strömung ohne Diskontinuitäten kann daher als die normale Voraussetzung für die Untersuchung von Ruderproblemen gelten.

c) Instationäre Relativströmung am Ruder tritt auf beim unbeschleunigten und beim beschleunigten Ruderlegen sowie bei nichtstationärer Drehung des ganzen Schiffes. Hierzu existieren nur sehr wenige, unsystematisch angelegte Versuche. Andererseits stehen Ergebnisse der Aerodynamik zur Verfügung, die allerdings nur auf große Seitenverhältnisse abgestimmt sind.

d) Stationäre Längsanströmung hat für Ruder normaler Schiffe nur sehr untergeordnete Bedeutung, da der Widerstand des nicht gelegten Ruders relativ klein ist. Bei kleinen, schnellen Fahrzeugen lediglich sind Laminarprofile mit guten Querkrafteigenschaften zu verwenden.

e) Stationäre Queranströmung besitzt unmittelbar ebenfalls kaum eine Bedeutung für das Ruder, wiewohl der Anteil des Ruders am Widerstand gegen seitliche Windversetzung des ruhenden Schiffes oft erheblich größer ist als seinem Flächenanteil entspricht. Eine bemerkenswerte Bedeutung hat jedoch mittelbar der Querwiderstand des Ruders für die Berechnung der Ruderkräfte bei schräg angeströmtem Ruder. Hier tritt der Querwiderstand als Faktor bei dem — mit dem Anstellwinkel — quadratischen Anteil von Querkraft und

Rudermoment und dem kubischen Anteil des Widerstandes auf (q und r).

f) Für die allgemeine stationäre Anströmung kommt beim Ruder praktisch nur die reine Schräganströmung in Betracht, da das stationäre Drehen des Schiffes für das Ruder einen zu geringen Wert der relativen Drehung  $\kappa$  ergibt. So z. B. beim Drehen des Schiffes auf der Stelle — „auf dem Teller“ — ergibt sich bei Ruderlänge  $L_R = 0,02 \cdot$  Schiffslänge  $L$  ein  $\kappa$  von 0,04, was einer Kreiswölbung des Ruders mit einem Wölbungspfeil von 0,5 v. H. der Ruderlänge  $L_R$  entsprechen würde. Selbst in diesem extremen Falle kann der Effekt also vernachlässigt werden.

g) Die Nähe der festen Wand des Schiffes spielt praktisch in jedem Anwendungsfalle eine Rolle; es ist darum um so erstaunlicher, daß dieses Problem systematisch überhaupt noch nicht angefaßt worden ist. Bei im Verhältnis zur Breite des Schiffsrumpfes kleinem Ruder ist genau wie im Falle der Nähe des Gewässergrundes die Aufgabe als Spiegelung mit Spalt aufzufassen. Die klassischen, theoretischen und experimentellen Arbeiten hierzu — auf die Seitenverhältnisse des Flugzeugflügels abgestellt — haben sich jedoch als unzulänglich für die kleineren Seitenverhältnisse von Schiffsrudern erwiesen. Qualitative Untersuchungen lassen jedoch erwarten, daß die Erweiterung der Theorie auf den nicht linearen „Spant“-Anteil der Umströmung befriedigende Ergebnisse liefern wird (vgl. q und r). Bei im Verhältnis zur Breite des Schiffsrumpfes großem Ruder entsprechen die Verhältnisse mehr dem Fall eines Tragflügels mit Rumpf; hier liegt vor allem experimentelles Material der Aerodynamik vor.

h) Bei der Behandlung der Nachbarschaft anderer Ruder, also Doppelruder und allgemein Mehrflächenanlagen, liegen die Verhältnisse ganz analog zu dem unter g) ausgeführten. Die klassische Theorie bedarf der Ergänzung. Schiffbaulich bestimmte Untersuchungen hierzu liegen überhaupt nicht vor.

i) Der Einfluß des Propellerstrahles auf das Ruder ist im Schiffbau durch eine Reihe von statistischen Angaben etwas verfolgt worden. Theoretische Angaben beschränken sich auf die Berechnung der Anströmungsgeschwindigkeit im Propellerstrahl sowie auf gewisse qualitative Hinweise über den Einfluß der Strahldrehung. Hierbei ist besonders interessant der Einfluß der Strahldrehung auf das Rudermoment; die für Ausbalancierung des Ruders erforderliche Drehachsrücklage ist dann nämlich wesentlich größer als bei drallfreier Anströmung, wie sie z. B. bei den meisten Versuchen mit allein frei fahrendem Ruder vorliegt. Außerdem besitzt die Strahldrehung auch einen gewissen Einfluß auf die Querkraft des Ruders, womit z. B. die unsymmetrischen Drehtendenzen beim normalen Einschraubenschiff etwas durchsichtiger werden. Diesbezügliche qualitative Aussagen der Theorie konnten bereits durch Großversuche gestützt werden. Über das Zusammenwirken von Ruder und Propeller bei Rückwärtsfahrt, wo das Ruder also in dem relativ sehr schwachen Propellersog arbeitet, gibt es nur tastende theoretische Aussagen und kaum experimentelle Ergebnisse. Es ist bekannt, daß der Querstrom des Ruders (entsprechend dem Abwind beim Tragflügel, vgl. J) zu Schräganströmung des Propellers — und auch des Totholzes bzw. des ganzen Rumpfes überhaupt — führt, wodurch die Ruderwirkung u. U. weitgehend oder sogar vollständig aufgehoben wird. Dies ist zugleich die Erklärung für die Wirkungslosigkeit von Bugrudern bei Vorausfahrt. Der Einfluß des Schiffsnachstromes (bzw. Vorstromes) ist an den geschilderten Effekten natürlich auch noch beteiligt. Um diesen verfolgen zu können genügt natürlich die in den üblichen Nachstromwerten enthaltene Summierung über den ganzen Bereich noch nicht. Über genaue Nachstromverteilungen existiert nur wenig Material. Für die Bestimmung der Ruderkräfte dürften aber bereits geeignete Mittelbildungen für Ober- und Unterteil des Ruders genügen, da es sich hierbei natürlich um „wirksame“ Mittel handeln muß, ist ein Einfluß der Ruderabmessungen neben dem des Ruderabstandes vom Schiff auf diesen Wert zu erwarten. Zu diesem Problem erscheinen Versuche unerlässlich; doch können Geschwindigkeitsmessungen im Nachlauf und die eventuell schwierige

Mittelung vermieden werden, wenn man die Aufgabe auf eine Kraftmessung mit in Ober- und Unterteil getrenntem Ruder zurückführt.

k) In der Nähe der Wasseroberfläche arbeitet praktisch jedes am Schiff eingebaute Ruder, sofern es sich nicht um extrem tief gezogene Kreuzerhecks bzw. tief gesetzte Ruder handelt. Wie das Verzeichnis von Ruderversuchen in Abschnitt IV ausweist, sind leider nur sehr wenige Ruderversuche im Schlepptank in „natürlicher“ Entfernung von der Wasseroberfläche ausgeführt worden. Im Windkanal, in dem die meisten Versuche wegen der sehr viel bequemeren Versuchstechnik ausgeführt werden, ist die freie Oberfläche ohnehin nicht zu verwirklichen. Im Schlepptank hat man wohl meist die Variation der Eintauchtiefe — und damit zusätzlich noch der Geschwindigkeit — gescheut, und die Ruder so tief gefahren, daß man glaubte, vom Einfluß der freien Oberfläche frei zu sein. Eine experimentelle Systematik fehlt also. Theoretisch ist durch die Annäherung des Ruders an die freie Oberfläche ein Anwachsen der Kräfte zu erwarten.

l) An der Wasseroberfläche ist ebenfalls ein Anwachsen der Kräfte gegenüber der Anströmung in unbegrenztem Wasser zu erwarten. Dies gilt auch für den erwähnten nichtlinearen „Spantanteil“ der Kräfte, sofern das Seitenverhältnis nicht Werte annimmt, die weit unter dem für Ruder üblichen liegen. Experimente mit unvollkommen getauchten Rudern sind ganz besonders selten anzutreffen und natürlich systematisch völlig unzureichend.

m) Unbegrenztes Wasser ist der Normalzustand, für den im allgemeinen alle Angaben der Theorie und des Experimentes gelten, wenn keine spezialisierenden Hinweise gegeben sind. Als unbeschränkt wird ein Tankversuch bei sehr großer Eintauchtiefe oder ein Windkanalversuch mit nicht zu großer Kanalversperrung anzusehen sein. Es sei in diesem Zusammenhang auf die besondere Problematik der sogenannten Kanalkorrekturen für die Windkanalversuche hingewiesen. Diese Kanalkorrekturen sind für Tragflügel großen Seitenverhältnisses berechnet. Bei diesen Seitenverhältnissen spielen die erwähnten „Spantanteile“ der Kräfte eine vernachlässigbare Rolle, so daß sie in den Korrekturen nicht enthalten sind. Wendet man diese Korrekturen aber unverändert auf die gesamten Kräfte der Ruderflächen an, so fällt die Korrektur ungenau aus. Man muß vielmehr vor Anwendung der bekannten Korrekturformeln die Spantanteile der Kräfte abziehen. Für die Spantanteile gelten eigene Korrekturen, deren Formulierung — nach der Theorie der Quertriebskörper von unendlich kleinem Seitenverhältnis im Strahl bzw. im Kanal oder nach entsprechenden Messungen — jedoch noch aussteht. Zur Zeit werden Windkanalversuche mit kleinen Seitenverhältnissen entweder mit der bekannten Formel oder überhaupt nicht korrigiert.

n) Ruder mit fester Flosse, Leitkopf oder Vorflügel sind im Schiffbau zwar nicht so häufig wie das voll bewegliche sogenannte einfache Balanceruder, jedoch ist ihre Anwendung noch bzw. wieder so wichtig, daß sie bei der Betrachtung der Ruderprobleme nicht übergangen werden können. Die Formgebung dieser Ruder ist nicht immer Werk der Hydrodynamiker. Die hydrodynamisch schlechteste dieser Formen, das Halbbalance-Schweberuder, ist ein „grausamer“ Kompromiß und entspricht mehr konstruktiven Bedürfnissen. Neben diesem Ruder kommt der Form mit durchgehendem festen Leitkopf vor dem eigentlichen Ruder die größte Bedeutung zu. Bei fast allen diesen kann keine Ausbalanzierung des drehenden Teiles erreicht werden. Jedoch sind vernünftige Formen denkbar und schon vorgeschlagen worden, die auch eine beliebige Balancierung haben können, wie z. B. auch bei Rudern mit geteiltem Leitkopf in Form zweier schiffsfester Vorflügel. Nicht von allen diesen Formen liegen überhaupt Versuche vor; die vorhandenen sind systematisch noch sehr unzureichend. Für bisher offenbar noch nicht unternommene theoretische Bemühungen kann man von den Arbeiten der Aerodynamik ausgehen und diese auf die für Ruder unterschiedlichen Seitenverhältnisse und Rudertiefenverhältnisse hin entwickeln.

o) Ruder mit Endscheiben, Ringruder und Kastenruder haben recht vorteilhafte Querkrafteigenschaften, die trotz ihres

höheren Widerstandes als einzelne Balanceruder sie für manche Anwendungsfälle vorteilhaft erscheinen lassen. Die experimentellen Unterlagen bedürften noch einer Ergänzung, und auch die Theorie ist bisher noch nicht auf die kleinen Seitenverhältnisse abgestellt. Kastenruder sind schon angewendet worden; von Endscheiben ist zwar schon gelegentlich vorschlagsweise gesprochen worden, über eine Anwendung in sinnvoller Form ist nichts bekannt. Ringruder könnten auch statisch vorteilhaft erscheinen, so daß man sie in den Kreis der zu berücksichtigenden Entwicklungsmöglichkeiten einbeziehen sollte.

p) Das voll bewegliche Ruder, schlechthin als Balanceruder bezeichnet, kann als Normalform gelten. Es ist zugleich die leistungsmäßige Bezugsbasis für alle anderen Formen.

q) Ein Seitenverhältnis  $\Lambda$  von 0,5 bis 3 ist für Schiffsruder typisch. Die Definition „Ruderhöhenquadrat durch Ruderfläche“ ist für diesen Wert besser als das einfache Verhältnis von Ruderhöhe zu Ruderlänge, das nur für das Rechteckruder mit dem Seitenverhältnis übereinstimmt. Der oben genannte Bereich 0,5 bis 3 ist das nur wenig abgerundete Ergebnis einer statistischen Untersuchung von ausgeführten Rudern aus alter und neuerer Zeit. Dabei ist jedoch zu bekennen, daß ein einziger Schiffstyp, der Radschlepper in seiner ältesten Ausführung, aus diesem Rahmen fällt und extrem bis zu Seitenverhältnissen von fast nur 0,2 reicht. Für Neubauten ist aber 0,5 zweifellos die unterste Grenze. Ein bemerkenswerter Zufall ist nun, daß die Theorie der Körper von kleinem Seitenverhältnis, die in ihrer vollständigen Form vom Seitenverhältnis  $\Lambda = 0$  bis zu  $\Lambda = \infty$  anwendbar ist, sich für den Gültigkeitsbereich 0,5 bis 3 in recht einfacher Weise annähern läßt. Insbesondere ergibt sich dabei für die Formulierung des „Spantanteiles“ der Kräfte eine Vereinfachung.

r) Allgemeines Seitenverhältnis von  $\Lambda = 0$  bis  $\Lambda = \infty$  ist trotz des oben Ausgeführten ein Gesichtspunkt zur Darstellung der Ruderprobleme, da die oben unter q) erwähnte Vereinfachung der Theorie nicht auf Näherungen im Ansatz, sondern ganz einfach auf der bereichsweisen Linearisierung in der Kurvendarstellung der Ergebnisse beruht. Man kann also an der vollständigen Theorie der Quertriebskörper von allgemeinem — also auch sehr kleinem — Seitenverhältnis nicht vorübergehen. Diese unterscheiden sich von der Tragflügeltheorie für große Seitenverhältnisse, die ja nur die sogenannte „Wasserlinienumströmung“ ohne Einfluß der Stromlinienkrümmung berücksichtigt, dadurch, daß auch die Stromlinienkrümmung und die bereits erwähnte „Spantumströmung“ berücksichtigt wird. Wasserlinienumströmung bedeutet beim Ruder also Umströmung in Richtung der Ruderlänge  $L_R$ . Die entsprechenden Anteile der Kräfte — Wasserlinienanteile — sind linear mit dem Anstellwinkel für die Querkraft und das Moment und quadratisch für den Widerstand, wie es auch von der Tragflügeltheorie her bekannt ist. Die Spantumströmung verläuft beim Ruder in Richtung der Ruderhöhe  $H_R$ . Der entsprechende Spantanteil der Kräfte verläuft quadratisch mit dem Anstellwinkel für Querkraft und Moment und kubisch mit dem Widerstand. Einige Formulierungen hierzu sind im Abschnitt III enthalten. Nicht nur bei der Anwendung der Theorie, sondern auch bei der Analyse von Versuchsergebnissen wird man sich nicht auf den Bereich der Seitenverhältnisse von  $\Lambda = 0,5$  bis  $\Lambda = 3$  beschränken dürfen, sondern man wird systematisch folgerichtig auch Ergebnisse verwenden, die jenseits des genannten Bereiches liegen. Insofern ist also der Bereich der Seitenverhältnisse, in dem diese für wirkliche Ruder brauchbaren Näherungen gelten, in jedem Falle etwas zu erweitern.

s) Plattenruder haben als Anwendungsform aus baulichen und hydrodynamischen Gründen nur noch historische Bedeutung. Andererseits sind aber ebene Platten ausgezeichnete Studienobjekte für theoretische und experimentelle Arbeiten. Besonders wertvoll ist die Eigenschaft, daß sie hinsichtlich Querkraft und Moment bei nicht zu großen Anstellwinkeln durchaus einem guten Profiliruder gleichwertig sind, und daß sie andererseits in ihren Eigenschaften nur in sehr geringfügiger und dabei sehr klarer Weise von der Reynoldsschen

Zahl abhängig sind. Und insbesondere ist die maximale Querkraft sehr unempfindlich gegenüber dieser Kennzahl. Lediglich beim Vergleich der Widerstände verschiedener Ruderformen sind Platten ungeeignet, da sie an sich schon einen recht beträchtlichen Widerstand haben. Doch sind die Widerstandseigenschaften von Schiffsrudern allgemein heute von untergeordneter Bedeutung, da alle überhaupt nur in Betracht kommenden Bauformen sich im Widerstand nur belanglos unterscheiden. Einschränkend sei bemerkt, daß Plattenruder als nicht in Betracht kommend angesehen werden sollen und daß von den übrigen nur die bereits im schlechten Sinne erwähnten Halbbalanceruder sich ungünstig auch im Widerstand unterscheiden.

t) Profilruder können hinsichtlich der Anwendung als Normalfall gelten, von dem es heutzutage praktisch keine Ausnahmen mehr gibt, wie bereits unter s) erwähnt. Das Profil der Ruder mit beweglichem und festem Teil (n) ist meist sehr speziell von der Art der Zusammenfügung von festem und beweglichem Teil bedingt. Doch gibt es dabei auch Formen, bei denen der bewegliche Teil das gleiche Profil wie ein voll bewegliches Ruder hat. Die meiste Entwicklungsarbeit ist bisher für die Profile der voll beweglichen Ruder, also der Balanceruder schlechthin, geleistet worden. Hauptkennzeichen solcher Profile sind die größte relative Dicke, die nicht unter 12 und nicht über 18 v. H. betragen sollte. Die größte Dicke sollte möglichst nicht sehr viel weiter als 25 v. H. der Länge hinter der Vorderkante liegen. Die Hinterkante sollte so schlank wie möglich ausgeführt werden, was bei dickeren Rudern zwangsläufig auf hohle Flanken führt. Auch für die Ausbildung der Rudernase haben sich geeignete Werte experimentell herausgebildet. Zweckmäßigerweise stellt man die ganze Profilform mit Hilfe einer Konturgleichung analytisch dar, wobei man die erwünschten Werte in Form von Formparametern in die Gleichung einführen kann. Die Anwendung solcher mathematischen Profile hat noch vor den frei gestrakten den unzweifelhaften Vorzug, daß ein sauberer Strak auch ohne Strakplan großer Abmessungen immer gewährleistet ist und daß man damit leichter das Profil durch einige Zahlenwerte für die wichtigsten Parameter ausdrücken kann, was für den Vergleich zwischen sehr verschiedenartigen Profilen besonders vorteilhaft ist. Daß dieser Profilierung des Ruders in Richtung der Zuströmung die überragende Bedeutung zukommt, braucht nicht betont zu werden. Aber auch die Profilierung in dazu senkrechter Richtung, die also der mehrfach erwähnten Spantumströmung entspricht, ist wichtig. Sie ergibt die Form von Oberkante und Unterkante des Ruders, die — was geometrisch ja naheliegend ist — die Größe des Spantanteiles der Kräfte ganz wesentlich zu beeinflussen gestattet. Gleichzeitig beeinflusst die Kantenform aber auch die Wasserlinienanteile der Kräfte. Bei stumpfen Kanten, die ja bei Rudern fast durchweg ausgeführt werden, ergibt sich für dicke Ruder eine scheinbare Vergrößerung der Ruderhöhe und damit des effektiven Seitenverhältnisses. Das ist auch der Grund für den breiten Spielraum in den etwa optimalen Ruderdicken nach oben hin. Systematische Arbeiten über den Einfluß der Ruderprofilierung sind aber bisher noch nicht veröffentlicht worden. Eine besondere experimentelle Schwierigkeit ergibt sich daraus, daß der Kennzahl einfluß bei Profilrudern sehr viel größer ist als bei Plattenrudern. Eine Kennzahlkorrektur für kleine und mittlere Querkraftbeizahlen ist zwar möglich, sofern die Kennzahl nicht zu niedrig liegt; doch ist eine solche Korrektur für das Maximum der Ruderwirkung sehr schwierig und oft sehr unsicher. Material hierüber ist sehr spärlich vorhanden. Für die Maximalwirkung sollte man immer anstreben, etwa die Kennzahl der Großausführung zu erreichen, was praktisch nur in großen Windkanälen möglich ist. Eine besondere Spezialität des Ruderprofils ist noch die Ausbildung der Hinterkante. Scharfkantig stumpfe Kanten sind besser in der Wirkung als jede andere Form. Eine Übersteigerung der stumpfen Kante sind verdickte Hinterkanten mit stumpfen Abschluß, wie sie in Form von Staukeilen besonders bei schlecht steuernden kleineren Schiffen oft angewendet worden sind. Hierüber liegen nur

wenig anwendbare Messungen vor. Dies Gebiet ist noch wenig aufgeklärt. Besonders fehlen Messungen über den Einfluß solcher Staukeile auf das Rudermoment.

u) Rechteckig ist der normale Ruderumriß und zugleich auch wieder der Umriss, der den meisten theoretischen Behandlungen der Flächen von kleinem Seitenverhältnis zugrunde liegt. Da er daneben zweifellos auch noch Herstellungsvorteile aufweist, könnte man ihn mit Recht als Normalumriß ansprechen. Die große Mehrzahl aller Versuche beziehen sich auch auf diesen Umriss.

v) Trapezförmig ist der Umriss einer ganzen Anzahl von gebauten Rudern. Insbesondere wird er neuerdings für die auch bei Einschraubern in Anwendung gekommenen Schwiberuder angewendet. Der hydrodynamische Unterschied gegenüber dem Rechteck ist bei mäßigen Trapezverhältnissen nicht bedeutend. Es liegen nur wenige Versuche hierzu vor. Windkanalversuche der Aerodynamik beziehen sich schon öfters auf solche Umrisse, allerdings in Form des Doppeltrapezes, was einem z. B. am Heckboden des Schiffes gespiegelten einfachen Trapezruder entsprechen würde.

w) Dreieckumriß ist für Ruder bislang ungebräuchlich. Es ist aber bisher auch noch nicht hinsichtlich seiner Eigenschaften als Ruder untersucht worden. Es liegen wertvolle Untersuchungen der Aerodynamik vor, die sich auf Ruder angewendet aber wiederum auf ein gespiegeltes Ruder beziehen würden.

x) Ellipsenruder hat es auch schon in früherer Zeit gegeben. Zugleich ist die Ellipse der Normalumriß der Tragflügel. Auch im Bereich der Ruderseitenverhältnisse liegen zahlreiche Untersuchungen vor, deren man sich zur systematischen Vervollständigung gut bedienen kann, wenn auch für eine unmittelbare Anwendung heute kaum praktische Gesichtspunkte mehr vorzubringen sind.

y) Allgemeine Umrisse, die unter u) bis x) nicht erwähnt sind, sind weder nennenswert untersucht noch leicht systematisch zu erfassen. Zum Glück haben sie in der Anwendung auch keine große Bedeutung. Doch sollte man bei der Untersuchung von Ruderproblemen die mögliche Anwendung solcher allgemeinen Umrisse nicht ganz außer acht lassen.

z) Glatte Oberfläche ist zwar ein technisch nur äußerst selten zu verwirklichender Zustand, aber theoretisch und auch experimentell von überragender Bedeutung, da dieser Oberflächenzustand überall als normale Bezugsbasis anzusehen ist. Wesentliche Rudereigenschaften sind bereits durch Untersuchungen für glatte Oberfläche so genau zu ermitteln, daß der Übergang auf nicht glatte Oberflächen nur noch den Charakter einer Korrektur hat.

A) Rauhe und sonstige Oberflächen sind dagegen der Normalzustand der Praxis. Besonders empfindlich gegen Rauigkeit ist die Maximalwirkung des Ruders. Hier existieren bisher auch keine Methoden, vom glatten auf das rauhe Ruder umzurechnen, so daß Experimente mit rauhen Rudern zumindest für diesen Fall unumgänglich sind. Ein besonderes Problem ist dabei wieder die für den Versuch zu wählende Form der Rauigkeit. Einmal soll die Art der natürlichen Rauigkeit möglichst gut wiedergegeben werden. Andererseits soll die Rauigkeit zu Vergleichszwecken möglichst gut reproduzierbar und geometrisch zu beschreiben sein. In der Natur zeigt sich die Rauigkeit einmal als eine ganz feine Sandigkeit, deren Korn mit dem bloßen Auge nicht wahrzunehmen ist, als Rissigkeit, als Welligkeit, als Höckerigkeit, die beim Bewuchs in die Zentimetergrößenordnung kommen kann und schließlich auch als eine Art Glitschigkeit beim Algenansatz. Während man früher im Modell allgemein nur Sandrauhigkeit verschiedener Korngröße und -dichte sowie gelegentlich künstliche Wellen angewendet hat, werden neuerdings auch Rauigkeitsgitter auf die glatte Oberfläche aufgebracht, was

entschieden den Vorzug der guten Reproduzierbarkeit und auch der Anpassung an verschiedene Maßstäbe hat und außerdem sehr praktisch zu handhaben ist.

**B)** Gesunde Strömung ohne quantitativ wichtige Ablösung ist der Normalzustand für Theorie und Versuch und damit eine der Voraussetzungen für eine gute Übereinstimmung beider. Doch ist zu bemerken, daß der wichtige Fall der maximalen Ruderkraft nicht mehr zu diesem Normalzustand gehört, es sei denn das Ablösen der Strömung erfolgt sehr abrupt, wie es sich für ein ordentliches Ruder eigentlich nicht gehört. Hier soll jedoch eingeschränkt werden, daß die bei Plattenrudern auch schon bei kleinen Winkeln auftretende örtliche Ablösung an der Plattenvorderkante, die die Eigenschaften der Platte ja so maßgeblich beeinflusst, dennoch nicht als quantitative Ablösung im Sinne dieses Gliederungspunktes zu gelten hat, da ihre quantitative Auswirkung unmittelbar unbedeutend ist.

**C)** Strömung mit Ablösung in quantitativ wichtigem Umfang beginnt meist kurz vor Erreichen der maximalen Ruderkraft und bei allen höheren Anstellwinkeln. Wenngleich auch für dieses Gebiet schon eine Reihe von auswertbaren Untersuchungen vorliegt, so ist im ganzen das Material noch recht mager, und der Auswertung von verfügbaren Versuchunterlagen kommt große Bedeutung zu. Erst wenn der Anstellwinkel des Ruders so groß geworden ist, daß Totalablösung an allen vier Kanten des Ruders auftritt, wird die Berechnung wieder einfach und stimmt sehr gut mit dem Versuch überein. Die Normalkraft (also senkrecht zur Ruderfläche) wird dann proportional dem Querwiderstand (Widerstand bei 90 Grad Anstellwinkel) und dem Quadrat des Anstellwinkelsinus. Eine Tangentialkraft ist praktisch bedeutungslos. Daraus ergibt sich dann Querkraft und Widerstand leicht durch Komponentenzerlegung. Bei Teilablösung liegen die Kräfte entsprechend zwischen den Ergebnissen für gesunde Strömung und für Totalablösung.

**D)** Laminare Strömung hat für Ruderfragen fast keine Bedeutung. Sieht man von Sonderausführungen für Rennjachten ab, so gibt es bei Rudern keine Anwendung für erwünschte Laminarhaltung. Unerwünschte Laminarhaltung bei zu kleinen Reynoldszahlen (kleiner als etwa  $0,2 \cdot 10^6$ ) im Versuch muß unbedingt vermieden werden, wodurch sich dann für jeden Fall immer eine Mindestmodellgröße ergibt. Kann man diese Mindestmodellgröße nicht erreichen, so wird die Anwendung von Profilrudern im Modellversuch sinnlos und man muß mit unähnlichen Rudern, also Plattenrudern, arbeiten.

**E)** Laminar-turbulente Strömung tritt ebenfalls praktisch nur bei Modellversuchen auf. Falls der Widerstandsmessung Bedeutung beigelegt werden soll, was bei Ruderversuchen meist nicht der Fall ist, muß dieser Umstand bei der Reibungskorrektur natürlich beachtet werden.

**F)** Turbulente Strömung ist der Normalzustand des Ruders am Schiff; er wird für das Modell ebenfalls angestrebt. Die erzwungene Turbulenzhaltung etwa durch Rauigkeitsstreifen oder wohl besser durch Stolperdrähte wird bisher nur selten bei Ruderversuchen verwendet. Für Modellversuche mit turbulentem Zustand ergibt sich der Vorteil einfacherer und sicherer Übertragung der Ergebnisse auf die Großausführung. Aus diesem Grunde wäre es nützlich, die Technik der künstlichen Turbulenzerzeugung im Modellversuch z. B. auch durch dicht vor dem Ruder angeordnete Turbulenzgitter weiter zu verfolgen.

**G)** Grenzschichtfragen sind für das Ruder nur im Sinne des unter D) bis F) Erwähnten von Bedeutung. Eine Sonderstellung nehmen nur einige Formen mit festem Leitkopf ein, die für die Maximalwirkung entworfen sind. Hier bemüht man sich durch geeignete Formgebung von Leitkopf und Ruderkopf in ihrer Stellung zueinander eine Strömungsablösung auch bei großen Ruderwinkeln noch zu vermeiden.

**H)** Geschwindigkeitsverteilung an der Ruderoberfläche interessiert im Zusammenhang mit der Kavitation oder Aeration. Von theoretischem Interesse ist sie für die Veranschaulichung der ja bei kleinen Seitenverhältnissen etwas unüber-

sichtlichen Strömungsvorgänge. Daß die Geschwindigkeitsverteilung bei diesen kleinen Seitenverhältnissen sich von der bei unendlich großem Seitenverhältnis weitgehend unterscheidet, ist bereits unter a) bemerkt worden.

**J)** Das Strömungsfeld um das Ruder interessiert eigentlich nur im Hinblick auf Dinge, die stromabwärts des Ruders liegen. Das ist also bei der Rückwärtsfahrt der Propeller oder bei Bugrudern bei Vorwärtsfahrt das ganze Schiff. Auf die ungünstige Wirkung eines starken Ruderquerstromes in diesen Fällen ist schon unter i) hingewiesen worden.

**K)** Strömungskräfte am Ruder werden in der Form von Querkraft, Widerstand und Moment angegeben. Für konstruktive Betrachtungen über die Wahl der Ruderdrehschlaglage ist Normalkraft und Moment bestimmend. Wie beim Tragflügel werden diese Kräfte auf den Staudruck, die Ruderfläche und die hydrodynamische Ruderlänge bezogen. Bei eingebauten Rudern muß aus geometrischen Gründen natürlich die Drehachse als Momentenbezugslinie verwendet werden. Bei freifahrenden Rudern hingegen ist es systematisch bequemer und wegen der auch immer interessierenderen Rückwärtsfahrt statisch und systematisch einfacher, die halbe Ruderlänge als Ort der Bezugsachse zu verwenden. Die Formulierung des Momentes wird bei dieser Bezugsachse einfacher als bei Verwendung der in der Aerodynamik üblichen  $L/4$ -Linie, da das natürliche Zentrum des Spantanteiles der Kräfte dort liegt, das des Wasserlinienanteiles mit verkleinertem Seitenverhältnis aber von  $L/4$  nach der Vorderkante wandert. Für die praktische Anwendung interessieren am meisten die Querkraft und das Moment bei kleinen bis mittleren Anstellwinkeln sowie die maximale Querkraft mit zugehörigem Moment und Anstellwinkel. Der Widerstand tritt demgegenüber an Bedeutung zurück. Bei guten Formen und starkem Propellerstrahldrall kann der Widerstand zu einem Vortrieb werden. Wegen der unterschiedlichen Reibungsverhältnisse bei Modell und Schiff wirkt sich das natürlich am ehesten beim Schiff aus.

### III. Methode und Beispiel für die Analyse bisheriger experimenteller Arbeiten

Wie in Abschnitt II bereits erwähnt und in Abschnitt IV durch eine tabellarische — dabei gewiß noch unvollkommene — Übersicht belegt, stehen im Schrifttum und in unveröffentlichten Berichten eine recht beachtliche Anzahl von Ruderversuchen als Unterlagen für unmittelbare Verwendung bzw. für den Vergleich mit der Theorie zur Verfügung. Freilich handelt es sich fast durchweg nur um Versuche mit freifahrenden Rudern im unbegrenzten Medium. Doch ist dies schließlich der Ausgangspunkt und die natürliche Vergleichsbasis für alle weiteren Verallgemeinerungen des Ruderproblems. So ist es wohl sinnvoll, diese Versuche zunächst einmal so zu analysieren, daß ein Vergleich mit der Theorie leicht und übersichtlich wird und daß damit der Einfluß von Seitenverhältnis, Umriß, Kantenform und Profilform auf die Eigenschaften des freifahrenden Ruders rechnerisch bequem erfaßbar dargestellt werden kann.

Bei dieser Auswertung der Abhängigkeit der Querkraft, des Momentes und des Widerstandes vom Anstellwinkel sind verschiedene Wege gangbar. Häufig findet man in ein Versuchsdiagramm, das alle Kraftbeizahlen abhängig vom Anstellwinkel zeigt, theoretische Linien zum Vergleich eingetragen. Dieses Verfahren wirkt zwar sehr unmittelbar, hat aber den Nachteil, daß die eventuellen Differenzen zwischen Theorie und Versuch quantitativ und systematisch nur schwer zu beurteilen sind; außerdem ist für jeden Versuch die Berechnung eines theoretischen Verlaufes mit entsprechend vielen Diagrammen notwendig. Bei diesem Vorhaben hier ist ein anderer Weg begangen worden. Er verlegt den Vergleich zwischen Theorie und Versuch auf wenige zusammenfassende Darstellungen im Endergebnis, wo nicht mehr die ganzen Beizahlkurven, sondern nur deren Parameter verglichen werden. Da man diese Methode andernorts kaum auf sämtliche Parameter angewendet findet, soll sie hier etwas näher beschrieben werden.

Die in (167) berührte Theorie der Quertriebskörper von kleinem Seitenverhältnis ergibt gewisse Formulierungen für

Querkraft, Moment und Widerstand einer Ruderfläche. In Form von Beizahlen lauten diese für die Querkraft:

$$\frac{A}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot F} = c_a = c_{a(0)} + a_{w\alpha} \cdot \sin \alpha + a_{s\alpha} \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

für den Widerstand:

$$\frac{W}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot F} = c_w = c_{w(0)} + w_{w\alpha} \cdot \sin^2 \alpha + a_{s\alpha} \cdot \sin^3 \alpha \quad (2)$$

und für das auf die Bezugsachse bei  $L/2$  bezogene Moment:

$$\frac{M}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot F \cdot L} = c_M = c_{M(0)} + m_{w\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + m_{s\alpha} \cdot \sin^2 \alpha \quad (3)$$

Mit  $c_{a(0)}$ ,  $c_{w(0)}$  und  $c_{M(0)}$  sind dabei die Beizahlen für  $\alpha = 0$  bezeichnet. Die Werte  $c_{M(0)}$  und  $c_{a(0)}$  sollten zwar nur bei gewölbten Profilen von Null verschieden sein, doch ist die Berücksichtigung dieser Werte auch bei der Auswertung von Ruderprofilen oftmals von Belang. Durch Ungenauigkeiten bei der Modellherstellung oder durch unsymmetrische Abschrägung von Plattenkanten können diese Werte bereits für die Auswertung wichtig sein.

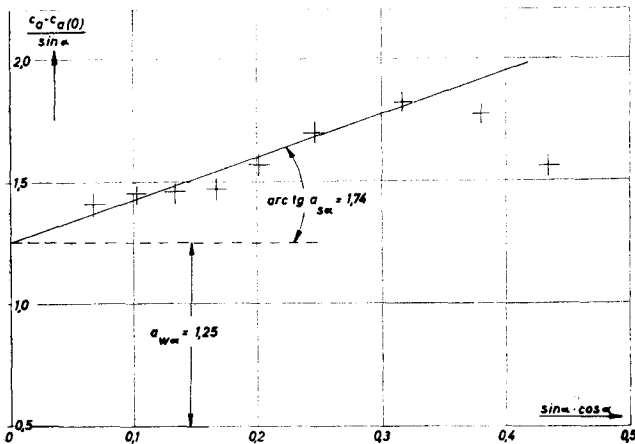


Abb. 1: Auswertung: Rechteckfläche (Scholz)  
Profil NACA 0015  $\Lambda = 1,2$ . Auftrieb

Um die Gleichungen (1) bis (3) für die Auswertung von Versuchsergebnissen geeignet zu machen, werden sie so umgeformt, daß die rechten Seiten nur noch linear von einer Winkelfunktion abhängig sind.

$$\left[ \frac{c_a - c_{a(0)}}{\sin \alpha} \right] = a_{w\alpha} + a_{s\alpha} \cdot (\sin \alpha \cdot \cos \alpha) \quad (4)$$

$$\left[ \frac{c_w - c_{w(0)}}{\sin^2 \alpha} \right] = w_{w\alpha} + a_{s\alpha} \cdot (\sin \alpha) \quad (5)$$

$$\left[ \frac{c_M - c_{M(0)}}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} \right] = m_{w\alpha} + m_{s\alpha} \cdot (\tg \alpha) \quad (6)$$

Sehr viele Quertriebskörpermessungen haben jedoch nicht die geometrische Mitte der Fläche als Bezugsachse für das Moment. Meist ist das Moment auf die Vorderkante oder auf die  $L/4$ -Linie bezogen. Es ist jedoch nicht nötig, diese Momente erst auf  $L/2$  umzurechnen. Man benutzt dann vielmehr eine zu (6) analoge Gleichung, die den der Messung zugrunde liegenden Momentenbezugspunkt enthält. In (6a) ist dies für den Fall der auf die Vorderkante bezogenen Momente gesehen.

$$\left[ \frac{c_{M_V} - c_{M_V(0)}}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} \right] = m_{w\alpha} - \frac{a_{w\alpha}}{2} + \left\{ m_{s\alpha} - \frac{a_{s\alpha}}{2} \right\} \cdot (\tg \alpha) \quad (6a)$$

Es ist nun ohne weiteres möglich, jede der drei Kraftbeizahlen des Ruders, wie sie aus der Messung entnommen werden, in der auf den Anstellwinkel bezogenen Form, der in (4) bis (6a) in eckigen Klammern steht, über den entsprechenden in runden Klammern stehenden Funktionen des Anstell-

winkels  $\alpha$  in einem Diagramm aufzutragen. Dies ist in den Abb. 1 bis 3 für ein Beispiel geschehen.

Aus diesen Auftragungen, bei der die Meßpunkte im Bereich gesunder Strömung theoretisch auf eine Gerade fallen müßten, kann man durch lineare Extrapolation auf  $\alpha = 0$  ohne weiteres die Ordinatenabschnitte ablesen, die dann den Koeffizienten  $a_{w\alpha}$ ,  $w_{w\alpha}$  und  $m_{w\alpha}$  (bzw.  $m_{w\alpha} - a_{w\alpha}/2$ ) entsprechen. Ebenso ist es leicht, im Richtungstangens dieser Geraden durch die Meßpunkte die Koeffizienten  $a_{s\alpha}$  und  $m_{s\alpha}$  (bzw.  $m_{s\alpha} - a_{s\alpha}/2$ ) zu ermitteln. Die so ermittelten Koeffizienten — der Index  $w$  soll auf die Wasserlinienströmung, der Index  $s$  auf die Spantumströmung

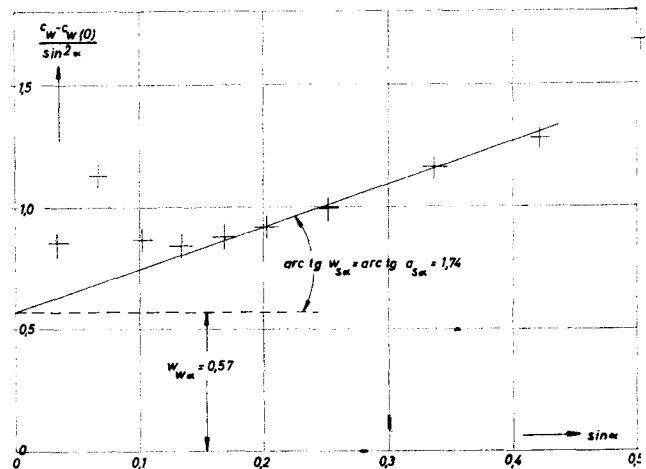


Abb. 2: Auswertung: Rechteckfläche (Scholz)  
Profil NACA 0015  $\Lambda = 1,2$ . Widerstand

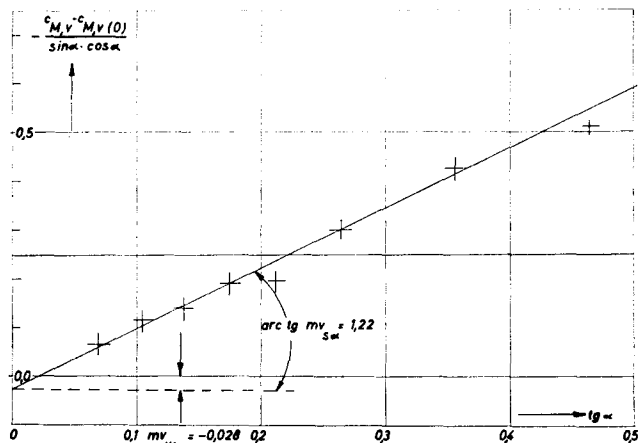


Abb. 3: Auswertung: Rechteckfläche (Scholz)  
Profil NACA 0015  $\Lambda = 1,2$ . Moment

hinweisen — können in einer weiteren Auftragung über dem Seitenverhältnis  $\Lambda$  mit entsprechenden theoretischen Kurven verglichen werden und führen so unmittelbar zum Ziel der Versuchsauswertung. In dieser Darstellung gleichen sich auch gewisse Ungenauigkeiten aus, die durch etwa nicht ganz korrektes Legen der Meßpunktgeraden entstehen können. Wegen der Art der Darstellung und der Eigenart der Windkanalwaagen kann man ja z. B. nicht die Methode der Ausgleichsgeraden mit dem kleinsten Fehlerquadrat anwenden. Bei kleinen  $\alpha$  wirkt sich durch die Art der Darstellung ein absolut gleicher Meßfehler viel stärker aus als bei größeren  $\alpha$ . Andererseits ist bei großen  $\alpha$  die Voraussetzung der gesunden Strömung nicht immer voll erfüllt und die Punkte verlassen die Gerade. Hier sei eingefügt, daß das Auswertdiagramm für die

Querkraft mit Vorteil auch dann verwendet werden kann, wenn die Messung bis  $\alpha = 90$  Grad ausgedehnt ist. Die Meßpunkte laufen dann wieder in den Nullpunkt zurück, und zwar unter einem Winkel, der dem  $a_{s,\alpha}$  für voll abgelösten Zustand entspricht, was wiederum mit der Widerstandsbeizahl  $c_{wQ}$  für quer angeströmte Fläche übereinstimmt. Dies hat sich tatsächlich bei Auswertung solcher Messungen auch einwandfrei bestätigt. Das gleiche gilt für das Auswertdiagramm des Widerstandes, wo die Tangente bei  $\sin \alpha = 1$  gleich  $a_{s,\alpha}$  wird.

Doch ist diese Darstellung wegen der großen Erstreckung etwas unbequem und bringt ja auch gegenüber der der Querkraft kein neues Ergebnis mehr. Ebenso ist in dieser Hinsicht die Auswertung für das Moment uninteressant, da bei voll abgelöster Strömung  $m_{s,\alpha}$  zu Null werden muß. Bei sehr starker Streuung der Meßpunkte legt man zweckmäßig zwei Auswertgerade in das Diagramm, die dann etwas extrem steil bzw. flach liegen sollen. Die danach zu bestimmenden Koeffizientenpaare führt man in die Endauftragung über dem Seitenverhältnis  $\Lambda$  ein und hat damit den denkbaren Streubereich der ausgewerteten Koeffizienten sicher eingegrenzt. Beim Einzeichnen dieser Geraden ist immer zu beachten, daß die Geraden im Querkraft- und im Widerstandsdiagramm die gleiche Neigung haben müssen, da die Koeffizienten des Spantanteiles der Kräfte in beiden Fällen die gleichen sind.

#### IV. Verzeichnis von Ruderversuchen

Über die Notwendigkeit der Kenntnis früherer Ruderversuche für die Bearbeiter von neuen und alten Ruderproblemen braucht hier wohl nichts mehr ausgeführt zu werden. Für diese Aufgabe ist das folgende Verzeichnis vornehmlich gedacht. Darüber hinaus soll es auch dem entwerfenden Ingenieur eine Vorstellung von dem Material verschaffen, das gegebenenfalls zur Auswertung seiner speziellen Probleme zur Verfügung steht. Wenngleich auch über Versuche mit Rudern oder ähnlichen Körpern weitaus weniger Material vorhanden ist als beispielsweise über den Schiffswiderstand, so ist es andererseits doch mehr als man in der Wertpraxis zumeist vermutet. Das liegt vor allem auch daran, daß nur ein sehr kleiner Teil solcher Versuchsergebnisse im Fach-

schrifttum des Schiffbaus zu finden ist. Die Mehrzahl der Ergebnisse findet sich in den Veröffentlichungsreihen der Aerodynamik, die im Schiffbau nur beschränkt Verbreitung gefunden haben.

Im folgenden sind nun alle die Versuche aufgeführt, die sich auf Schiffsrudder oder solchen ähnliche Quertriebskörper beziehen. Um eine systematisch möglichst gut fundierte Auswertung zu ermöglichen, sind dabei nicht nur alle ruderähnlichen Körper vom Seitenverhältnis zwischen 0,5 und 3,0 (was dem Bereich der Schiffsrudder entspricht) aufgeführt; vielmehr werden, sofern es sich um Versuchsserien mit variablem Seitenverhältnis  $\Lambda$  handelt, auch die Varianten mit  $\Lambda < 0,5$  und  $\Lambda > 3,0$  berücksichtigt. Nicht eingeschlossen sind nur ruderunähnliche Körper, also z. B. Rotationskörper und Rumpfkörper allgemein, sowie Tragflügelversuche mit  $\Lambda > 3$ . Hieraus ergibt sich, daß die meisten der für den Ruderentwurf sehr oft in unzulässiger Weise herangezogenen Versuche aus den Göttinger Lieferungen oder den NACA-Berichten hier nicht genannt werden. Das tabellarische Verzeichnis beschränkt sich auf folgende charakteristische Merkmale der Ruderversuche:

Name des Verfassers und Nr. der im Literaturverzeichnis genannten Stelle.

Schlagwort für die Profilform und Profildickenverhältnis.

Umrißform der Ruderfläche.

Form von Ruderoberkante und Unterkante.

Seitenverhältnis  $\Lambda = h^2/F$ .

Reynoldszahl der Messung (in Millionen angegeben) und ergänzende Bemerkungen über den Ort der Messung, Rauigkeit, evtl. Untersuchung bei Rückwärtsfahrt, mit Propeller oder am Schiffsmodell.

Das Verzeichnis ist entstanden aus dem Bemühen, außer aerodynamischen und neueren auch möglichst viele frühere Ruderversuche heranziehen zu können. Es enthält also alle Versuche, die für den Zweck des Vorhabens bereits ausgewertet sind und alle die, die hierzu bereitliegen bzw. zur Zeit sich in Arbeit befinden. Es ist jedoch bekannt, vgl. auch das Literaturverzeichnis in Abschnitt V, daß eine Vollständigkeit damit noch nicht erreicht ist.

Verfasser	Lit.-Nr.	Profil, Form u. d/L	Umriss	Kanten	$\Lambda$	$\frac{Re}{10^6}$	und Bemerkungen
Eiffel	(31)	Platte	Rechteck		9	0,1	Windkanal
					6	0,15	
					3	0,15	
					2	0,15	
					1,5	0,15	
					1	0,25	
					0,33	0,45	
0,166	0,9						
Flachsbart	(38)	Platte	Rechteck	rund	5	0,46	Windkanal
					1	0,7	
					0,2	2,3	
Flügel	(42)	Platte	Rechteck	stumpf	2,5	0,69	Windkanal
Föppl	(46)	Platte	Rechteck	stumpf	3		Windkanal
					2		
					1,5		
					1,25		
					1		
0,5							
Gawn (Froude)	(50)	Platte	Rechteck	scharf	2	0,1	Schlepptank
					1	0,14	
					0,5	0,18	
Schaffran	(127)	Platte	Rechteck		5		Schlepptank
					1		
					0,517		
					0,25		
					0,2		

Verfasser	Lit.-Nr.	Profil, Form u. d/L	Umriß	Kanten	$\Lambda$	$\frac{Re}{10^6}$	und Bemerkungen
Scholz	(141)	Platte	Rechteck	rund	3	1	Windkanal
					2	1	
					1	1	
					0,5	1	
Winter	(185)	Platte	Rechteck		2	0,33	Windkanal
					1,5	0,38	
					1,25	0,42	
					1	0,47	
					0,66	0,58	
					0,5	0,66	
					0,35	0,8	
					0,134	1,29	
Low und Stone	(99)	Platte	Rechteck		0,5		Windkanal
					0,25		
Michael	(105)	Platte	Rechteck	rund	0,25	2,09	Windkanal
Matthias	(104)	Platte	Rechteck	—	1	bis 0,15	Schlepptank
					0,25	bis 0,6	
					4	bis 0,15	
					1	bis 0,6	
Winter	(185)	Platte	Dreieck gerade H.K.	—	4	0,24	Windkanal
					2,31	0,32	
Tosti	(168)	Platte	Dreieck gerade Hinterkante	—	3	0,166	Windkanal
					2	bis	
					1	1,15	
					0,5		
Winter	(185)	Platte	Dreieck gerade V.K.	—	4	0,24	Windkanal
					2,31	0,32	
Tosti	(168)	Platte	Doppel- Trapez gerade L/4	—	3	0,166	Windkanal
					1	bis	
					0,5	1,15	
Tosti	(168)	Platte	Doppel- Trapez gerade H.K.	—	2	0,166	Windkanal
					1	bis	
					0,33	1,15	
					0,17		
Gawn (Froude)	(50)	Platte	Ellipse	scharf	5,1		Schlepptank
					3,82		
					2,55		
					1,91		
					1,59		
					0,008		
					1,27	0,14	
					1,02		
					0,85		
					0,637		
0,425							
Flachsbart	(38)	Platte	Kreis	—	1,27	0,7	Windkanal
Hansen	(59)	Platte	Ellipse	rund	6,37	0,4	Windkanal
					2,55	0,64	
					1,273	0,9	
					0,637	1,3	
					0,255	2	
Hansen	(58)	Platte	Kreis	—	1,273	1,1	Windkanal
Hansen	(58)	Platte m.Profilkopf	0,03 Kreis	—	1,27	1,0	Windkanal
Winter	(185)	Platte	Ellipse	—	2	0,42	Windkanal
					1,8	0,45	
					1,62	0,47	
					1,27	0,59	
					1	0,6	
					0,81	0,67	
					0,5	0,84	
Winter	(185)	Platte	Halbellipse, gerade Hinterkante	—	2,55	0,36	Windkanal
					2	0,42	
					1,75	0,45	
					1,45	0,50	
					1	0,60	
					0,01	0,74	

Verfasser	Lit.-Nr.	Profil, Form u. d/L	Umriss	Kanten	$\Lambda$	$\frac{Re}{10^6}$	und Bemerkungen	
Winter	(185)	Platte	0,02	Halbellipse, gerade Vorderkante	—	2,55	0,36	Windkanal
			0,018			2	0,42	
			0,016			1,75	0,45	
			0,015			1,45	0,50	
			0,012			1	0,60	
0,01	0,66	0,74						
Winter	(185)	Gö 409	0,127	Rechteck	elliptisch	2	0,33	Windkanal
			0,125			1,5	bis	
			0,128			1	0,66	
			0,127			0,5		
Winter	(185)	Gö 409	0,127	Rechteck	stumpf	2	0,33	Windkanal
			0,125			1,5	bis	
			0,128			1	0,66	
			0,127			0,5		
Hansen	(58)	Kinnerprofil Gö 409	0,10	Kreis	—	1,273	1,1	Windkanal
Winter	(185)	Gö 409	0,194	Rechteck	stumpf	1	0,5	Windkanal
		Gö 409	0,194	Rechteck	elliptisch	1	0,5	
Remmers	(119, 120)	Gö 410	0,161	Rechteck	stumpf	1,91	0,08	Tank, auch am Schiffsmodell auch rückwärts
Winter	(185)	Gö 429	0,115	Rechteck	stumpf	1,14	0,7	Windkanal
Flügel	(42)	Gö 538	0,15	Rechteck	stumpf	2,5	0,7	Windkanal
Winter	(185)	Gö 539	0,22	Rechteck	stumpf	1,14	0,7	Windkanal
Flügel	(42)	Gö 539	0,22	Rechteck	stumpf	2,5	0,7	Windkanal
Flügel	(43)	Gö 539	0,22	Rechteck	stumpf	3		Windkanal
Flügel	(43)	Gö 539	0,22	Rechteck	stumpf	$2 \times 1,5$	1,5	Windkanal in Spannweiten- abständen
							0,033 · h	
0,066 · h	0,333 · h							
Flügel	(42)	Gö 540	0,25	Rechteck	stumpf	2,5	0,7	Windkanal
Schlichting und Jacobs	(136)	NACA 0015		Rechteck	stumpf	3,5	0,7	Windkanal
Jacobs	(68)	NACA 0015		Rechteck	stumpf	3	0,56	Windkanal
Jacobs	(68)	NACA 0015		Rechteck	Endscheib.	3	0,56	Windkanal
Scholz	(141)	NACA 0015		Rechteck	rund	3,2	1	Windkanal
						2,2	1	
						1,2	1	
						0,7	1	
Goodman u. Fisher	(53)	NACA 0012		Rechteck	rund	5,16	1 bis 2	Windkanal
						2,61		
						1,34		
Bird und Riley	(13)	NACA 0012		Rechteck	rund	2,6	0,63	Windkana/
Truckenbrodt	(170)	NACA 0012	Pfeilfl. La/Li = 1 45°		rund	5,16	0,4 bis 0,9 mit Stolperdraht, Windkanal	
						4,16		
						3,16		
						2,16		
						1,16		
Goodman u. Fisher	(53)	NACA 0012	Pfeilfl. La/Li = 1 45°		rund	5,16	1 bis 2	Windkanal
						2,61		
						1,34		
Goodman u. Fisher	(53)	NACA 0012	Pfeilfl. La/Li = 1 60°		rund	5,16	0,8 bis 2	Windkanal
						2,61		
						1,34		
Bird und Riley	(13)	NACA 0012	Dreieck, gerade Hinterkante		—	4	0,63 bis 1,4	Windkanal
						2,3		
						1,1		

Verfasser	Lit.-Nr.	Profil, Form u. d/L	Umriß	Kanten	$\Lambda$	$\frac{Re}{10^6}$	und Bemerkungen
Lange und Wacke	(91)	NACA 0012	Dreieck, gerade Hinterkante	—	3 2 1,33 1	3 3 3 3	Windkanal
Truckenbrodt	(170)	NACA 0012	Doppel- Trapez La/Li = 1/3	rund	3,94 3,16 2,38 1,61 0,83	0,4 bis 0,9	Windkanal
Lange und Wacke	(91)	NACA 0012	Dop- pel- Tra- pez gerade H.K.	$\frac{La}{Li} = \frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{8}$	stumpf 1,33 1,33 1,33	3 3,6 4	Windkanal
Lange und Wacke	(91)	NACA 0012	Spitz- Ellipse mit gerader Hinterkante	—	2 1,33 1	2,7 3,3 3,8	Windkanal
Voepel	(172)	NACA 0012 bis 0009	Rechteck	stumpf	2 1 0,5	0,6 0,9 1,2	Windkanal
Voepel	(172)	NACA 0012 bis 0009	Doppel- Trapez mit gerader Hinterkante	stumpf	2 1 0,5	1 1,1 1,5	Windkanal
Groth und Thiel	(56)	NACA 000 11—0,825 40	Rechteck	rund bis ellipt.	2,89	3,5	Windkanal
Marshall	(103)	Profil 0,12	Rechteck	elliptisch	1,65 0,636	1 1	Windkanal
Flügel	(42, 43)	Profil V 0,225	Rechteck	stumpf	2,5	0,7	Windkanal auch rückwärts
Flügel	(42,43)	Profil „D“ Oertzruder 0,20	Rechteck Rechteck	stumpf stumpf	2,5 2,5		Windkanal auch rückwärts
		Seebeckruder 0,246	Rechteck	stumpf	2,5		Windkanal
		Seebeck-Oertzr. 0,187	Rechteck	stumpf	2,5		Windkanal auch rückwärts
Berndt	(11)	Profil 0,10	Dreieck m. abgerundeten Spitzen		2,5 1,67 1		Windkanal
Hoerner	(63)	Profil	Doppel- Trapez	scharf rund rund verdickt	2 2 2		Windkanal
Fehner	(35)	symmetr. 0,15	Rechteck	stumpf	3 2 1	0,9 bis 2,7	Schlepptank
Thieme	(165)	Profil 0,12	Rechteck	stumpf	0,74	0,4 (0,3)	Tank, auch mit Aufrauung, auch rückwärts
Thieme	(165)	Profil mit 2 schiffsfesten Leitflächen 0,12	Rechteck	stumpf	0,61	0,48 (0,36)	Tank, auch mit Aufrauung, auch rückwärts
Flügel	(42)	„IX“ Plattenruder mit Profil-Leitk. „VIII“ Hydrogap „VII“ Plattenruder mit dickem Profilkopf und 2 schiffsfesten Leitflächen „VI“ Profilruder mit 2 ruderfesten Vorflügeln	Rechteck Rechteck Rechteck Rechteck	stumpf stumpf stumpf stumpf	2,5 2,5 2,5 2,5	0,69 0,69 0,69	Windkanal

Verfasser	Lit.-Nr.	Profil, Form u. d/L	Umriß	Kanten	$\lambda$	$\frac{Re}{10^6}$	und Bemerkungen
Koning	(84)	Profil 0,2 bis 0,126	Trapez	stumpf	1,96	0,05 bis 1,52	Tank, auch am Schiffsmodell und mit Propeller
Koning	(84)	Profil 0,143 0,103	schiefes Trapez	stumpf	1,26	0,09 bis 1,66	Tank, auch am Schiffsmodell und mit Propeller

#### V. Schrifttum zum Thema Ruder

Das mit diesem Bericht begonnene Forschungsvorhaben soll nicht innerhalb eng gesteckter Grenzen eine bestimmte Spezialität allein betreffen. Es möchte vielmehr ein gewisses, breiteres Gebiet von besonders vordringlich erscheinenden Aufgaben klären helfen, ohne von vornherein die Grenzen dieses Gebietes schematisch festzulegen. Auf jeden Fall ist es bei solchen Arbeiten notwendig, den „Stand der Dinge“ erkennbar zu machen und darüber hinaus etwa bereits im Schrifttum verborgene Quellen für eine solche Klärung zu benutzen. Aus diesen Gründen soll auch hier eine möglichst umfassende Erfassung des Schrifttums der Ausgangspunkt aller Bemühungen sein. Das darum hier angefügte Verzeichnis wird trotz bester Bemühungen sicherlich noch gewisse Lücken aufweisen. Vollständigkeit wurde angestrebt, um nicht nur dem vorliegenden Vorhaben, sondern auch ähnlichen und anderen Arbeiten zum Ruderproblem von Nutzen sein zu können. Andererseits ergibt sich daraus aber auch, daß durch die Wiedergabe in diesem Verzeichnis keine Bewertung oder gar Empfehlung der angeführten Arbeiten ausgedrückt werden kann. Im Gegenteil, aus den Fortschritten der Erkenntnisse ergibt sich, daß das Schrifttum manches enthält, was inzwischen als unrichtig erkannt worden ist. Eine kritiklose Verwendung des vorliegenden Schrifttums für neue Arbeiten erscheint beim Thema Ruder ganz besonders gefährlich, da dieses Thema bisher offenbar als nicht reizvoll für Originalarbeiten erschienen ist und die Übernahme älterer Arbeiten für neue Veröffentlichungen hier besonders häufig anzutreffen ist.

Alle die Arbeiten, die in dem „Verzeichnis von Ruder-  
versuchen“ (Abschnitt IV dieses Berichtes) aufgeführte Versuchsergebnisse enthalten, sind durch ein V hinter der in ( ) gesetzten Ordnungszahl gekennzeichnet.

- (1) Abbot, J., von Doenhoff, A., und Stivers, L.: Summary of airfoil data. NACA Rep. 824 (1945).
- (2) Abell, T. B.: Notes on rudders and steering of ships. Inst. Eng. Shipb. Scotland, 1934, S. 405.
- (3) Abell, T. B.: Some model experiments on rudders placed behind a plane deadwood. T.I.N.A. 1936, S. 137.
- (4) Ackeret, J.: Messungen an Profilen mit abgeschnittener Hinterkante. Erg. d. A.V.A. Göttingen, III, S. 82.
- (5) Ackeret, J.: Messungen an Flügeln mit Ausschnitten. Erg. d. A.V.A. Göttingen, III, S. 92.
- (6) Atsumi, S.: Pressure distribution on a wing with circular plan form. Journ. Aeronautical Sciences, 1937, S. 499.
- (7) Baker, G.: The steering of ships. Ship Efficiency and Economy, S. 64 (Liverpool, 1942).
- (8) Baker, G., und Bottomley, G.: Manoeuvring of ships. Part I: Unbalanced rudders of single screw ships. Inst. Eng. Shipb. Scotland, 1922.
- (9) v. Baranoff, A.: Tragflügel im Schraubenstrahl. Ib. d. D. Lufo. 1939, I, S. 222.
- (10) v. Baranoff, A.: Beitrag zur Frage der Beeinflussung des Abwindes durch den Schraubenstrahl. Lufo. 1942, S. 1.
- (11) V Berndt, S.: Three component measurement and flow investigation of plane delta wings at low speeds and zero yaw. K.T.H. Aero T.N. 4 (1949).
- (12) Betz, A., und Lotz, I.: Verminderung des Auftriebes von Tragflügeln durch den Widerstand. Z.F.M. 1932, S. 277.
- (13) V Bird, I., und Biley, D.: Some experiments on visualization of flow fields behind low-aspect-ratio wings by means of a tuft grid. NACA T.N. 2674 (1952).
- (14) Börner, W.: Über die Formgebung der Schiffsruder. Schiff und Hafen, 1950, S. 235.
- (15) Bolland, W.: A theory for rectangular wings of small aspect ratio. Journ. Aeronautical Sciences, 1937, S. 294.
- (16) Bolland, W.: A non-linear wing theory and its application to rectangular wings of small aspect ratio. Z.A.M.M. 1939, S. 21.
- (17) Bottomley, G.: Manoeuvring of ships. Part II: Unbalanced rudders of twin-screw ships. Inst. Eng. Shipb. Scotland, 1924.
- (18) Bottomley, G.: Manoeuvring of ships. Part III: Unbalanced rudders behind single-screw ships. Effect of varying fulness of form. Inst. Eng. Shipb. Scotland, 1927.
- (19) Bottomley, G.: Manoeuvring of ships. Part IV: Unbalanced rudders behind twin-screw ships. Effect of varying fulness of form. Inst. Eng. Shipb. Scotland, 1930.
- (20) Bottomley, G.: Manoeuvring of ships. Semi-balanced rudders of twin-screw ships. N.E.C. Inst. 1932/33, S. 97.
- (21) Bottomley, G.: Manoeuvring of single-screw ships. The effect of rudder proportions on manoeuvring and propulsive efficiency. Inst. of Civil Engineers, 1935.
- (22) Braun, K.: Ruder und Steuern. Schiffbautechnisches Handbuch, Berlin, 1952, S. 196.
- (23) Brummer, H.: Ruderanordnung für Wasserfahrzeuge mit völligem Hinterschiff, insbesondere Lastkähne (Pat.). Schiffbau, 1941, S. 337.
- (24) Clary, I.: Notes on the calculation of size of rudder stocks. Marine Engineering, 1905, Oct.
- (25) Cowley, W., Simmons, L., und Coales, I.: The effect of balancing a rudder, by placing the rudder axis behind the leading edge, upon the controlling of the motion. T. Rep. of the A.C.A. 1916—1917, S. 154.
- (26) Dankwardt, E.: Berechnung der Ruderkräfte und des Rudermomentes. Schiffbautechnik, 1954, H. 1, S. 12.
- (27) Darnell, R.: Hydrodynamic characteristics of twelve symmetrical hydrofoils. United States Experimental Model Basin Rep. 341.
- (28) Denny, M.: The design of balanced rudders of the spade type. T.I.N.A. 1921, S. 117.
- (29) Diehl, W.: Engineering Aerodynamics. New York, 1936.
- (30) Doetsch, H.: Sechs-Komponentenmessungen an einem Rechteckflügel mit stumpfen und abgerundeten Enden und an einem elliptischen Flügel. Ib. d. D. Lufo. 1940, I, S. 62.

- (31) V Eiffel, G.: Der Luftwiderstand und der Flug. Berlin, 1912.
- (32) Falkner, V.: The calculation of aerodynamic loading on surfaces of any shape. A.R.C. R.a.M. No. 1910 (1943).
- (33) Falkner, V.: The solution by lifting-line theory of problems involving discontinuities. A.R.C. R.a.M. 2592 (1947) 1952.
- (34) Fea, L.: Timoni Equicompensati ad azione razionale. La marina italiana, December 1935.
- (35) V Fehlner, L.: Unpublished data at the D. W. Taylor Model Basin.
- (36) Fischer, K.: Berechnung der Ruderkraft. W.R.H. 1938, S. 259.
- (37) Fischer, K.: Untersuchungen an Schiffen bei Ruder- manövern. W.R.H. 1936, S. 81, 102, 116, 159, 166.
- (38) V Flachsbar, O.: Messungen an ebenen und gewölbten Platten. Eng. d. A.V.A. Göttingen, IV, S. 96.
- (39) Flax, A.: General reverse flow and variational theorems in lifting-surface theory. Journ. Aeronautical Sc. 1952, S. 361.
- (40) Flax, A., und Lawrence, H.: The Aerodynamics of low aspect-ratio wings and wing-body combinations. Third International Joint Conference of the Royal Aeronautical Society and the Institute of Aeronautical Science. Brighton (England), Sept. 1951, S. 363.
- (41) Flettner, A.: Das strombetätigte Ruder. W.R.H. 1922, Heft 16.
- (42) V Flügel, G.: Vergleichsversuche an Rudermodellen. Schiffbau, 1940, S. 167, 189.
- (43) V Flügel, G.: Neue Ergebnisse der Ruderforschung. Hansa, 1950, S. 1432.
- (44) Flügge-Lotz, I., und Ginzl, I.: Die ebene Strömung um ein geknicktes Profil mit Spalt. Jb. d. D. Lufo. 1939, I., S. 55.
- (45) Flügge-Lotz, I., und Solf, K.: Strömungsaufnahmen eines durch einen Tragflügel gestörten Schraubens- strahles. Lufo. 1940, S. 161.
- (46) V Föppl, O.: Der Winddruck auf ebene, schräg gestellte Platten von verschiedenem Seitenverhältnis. Mitteilun- gen aus der A.V.A. Göttingen, I. Folge, S. 1.
- (47) Franke, A., und Weinig, F.: Tragflügel mit Schraubens- trahl. Lufo. 1938, S. 303.
- (48) Franke, A., und Weinig, F.: Tragflügel und Schraubens- trahl. Jb. d. D. Lufo. 1940, I., S. 335.
- (49) Frey, K., und Söhle, H.: Modellversuche an Scher- brettern verschiedener Form. Schiffbau, 1934, S. 49.
- (50) V Gawn, R.: Steering Experiments. T.I.N.A. 1943, S. 35.
- (51) Ginzl, J.: Näherungsansätze und Korrekturen zur Traglinientheorie. Flügel kleiner Streckung. Göttinger Monographie, F<sub>1</sub> 2,5; F<sub>2</sub> 3,1, 1945/46.
- (52) Göthert, R.: Systematische Untersuchungen an Flü- geln mit Klappen und Hilfsklappen. Jb. d. D. Lufo. 1940, I., S. 278.
- (53) V Goodman, A., und Fischer, L.: Investigation at low speeds of the effect of aspect ratio and sweep on rolling stability derivatives of untapered wings. NACA Rep. 968 (1949).
- (54) Gover, S.: Turning and steering methods. D. W. Taylor-Model-Basin, Sept. 1950.
- (55) Gross, C.: Influence of rudder shapes on steering. University of California Publication in Engineering Vol. 2, Nr. 10.
- (56) V Groth, E., und Thiel, H.: Hochgeschwindigkeitsmes- sungen am Leitwerk He 162. Z.W.B.-Bericht U.M. 2160 (1946).
- (57) Hagen, G.: Unveröffentlichte Ergebnisse. D. W. Tay- lor-Model-Basin.
- (58) V Hansen, M.: Messungen an Kreistragflächen und Ver- gleich mit der Theorie der tragenden Fläche. Ingenieur Archiv 1939, S. 251; Z.A.M.M. 1938, S. 368, Jb. d. D. Lufo. 1939, I., S. 152.
- (59) V Hansen, M.: Sechskomponentenmessungen an schie- benden Ellipsenflügeln und Vergleich mit der Theorie. Jb. d. D. Lufo. 1942, I., S. 160.
- (60) Hanson, R., und Hunsacker, J.: Rudder trials U.S.S. „Sterrett“ S.N.A.M.E. 1912, S. 301.
- (61) Helmbold, H.: Der unverwundene Ellipsenflügel als tragende Fläche. Jb. d. D. Lufo. 1942, I., S. 111.
- (62) Hiorth, B.: Diskussionsbeitrag zum Vortrag Kucharski. Jb. d. S.T.G. 1931, S. 240.
- (63) V Hoerner, S.: Aerodynamic shape of the wing tips. U.S.H.F. Air Materiel Command T.R. 5752 (1948). U.S.H.F. Air Material Command T.R. 5752 (1948).
- (64) Hoerner, S.: Aerodynamic Drag. Midland Park, 1951.
- (65) Holme, O.: Measurements of the pressure distribution on rectangular wings of different aspect ratio. F.F.A. Rep. No. 37 (1950); K.T.H. Aero T.N. 6 (1949).
- (66) Horn, F.: Diskussionsbeitrag zum Vortrag Kucharski. Jb. d. S.T.G. 1931, S. 253.
- (67) Horn, F.: Theorie des Schiffes. Handbuch der Physi- kalischen und Technischen Mechanik, S. 699.
- (68) V Jacobs, W.: Experimentelle Untersuchungen am schie- benden Flügel. Ingenieur Archiv, 1952, S. 418.
- (69) Jaeger, H.: Calcul approximatif des couples sur meche et de la pression sur le gouvernail d'un navire. A.T.M.A. 1952, S. 399.
- (70) Joessel: Rapport sur des experience relatives aux gouvernails. Memorial du genie maritime 1873. 9. Lieferung.
- (71) Johns, A.: Normal pressure on thin moving plates. T.I.N.A. 1904, S. 232.
- (72) Johow-Förster: Steuern. Hilfsbuch für den Schiffbau, 5. Auflage, Berlin, 1928, S. 234.
- (73) Jones, R.: Theoretical correction for the lift of elliptic wings. Journ. Aeronautical Sciences, 1941, S. 8.
- (74) Jones, R.: Correction of the lifting-line theory for the effect of the chord. NACA T.N. 817 (1941).
- (75) Jones, R.: Properties of low-aspect-ratio pointed wings at speeds below and above the speed of sound. NACA T.N. No. 835.
- (76) Jones, R., und Ames, M.: The use of a beveled trail- ing edge to reduce the hinge moment of a control surface. NACA Rep. No. L—464 (1942).
- (77) de Jong, J.: Simplex-Balance-Ruder. W.R.H. 1936, S. 283.
- (77a) Judasche, F.: Das Schiffsruder und seine neuzeitliche Gestaltung. Schiff u. Hafen 1951, H. 5, S. 152.
- (78) Keary, E.: Manoeuvring of ships, model experiments of rudder forces under service conditions. Trans- actions of the Liverpool Engineering Society, 1925, S. 48.
- (79) Kellner, M.: Ruderanlage für Schiffe (Pat.). Schiff- bau, 1940, S. 14.
- (80) Kempf, G., und Schmierschalski, H.: Wie weit sind Ruderversuche im Modelltank möglich. W.R.H. 1927, S. 175.
- (81) Keune, F.: Auftrieb einer geknickten ebenen Platte. Lufo. 1936, S. 85.
- (82) Keune, F.: Moment und Ruderauftrieb einer geknick- ten ebenen Platte. Jb. d. D. Lufo. 1938, I, S. 54.
- (83) Kinner, W.: Die kreisförmige Tragfläche auf potential- theoretischer Grundlage. Ingenieur Archiv, 1937, S. 47; Z.A.M.M. 1936, S. 349; Jb. d. D. Lufo. 1937, S. 127.
- (84) V Koning, J.: Sturen. Weerstand en Voorstuwing van Schepen. Amsterdam, 1942, S. 285.
- (85) Kramer, M.: Die Zunahme des Maximalauftriebes von Tragflügeln bei plötzlicher Anstellwinkelvergrößerung. (Böeneffekt) Z.F.M. 1932, S. 185 (Nr. 7).
- (86) Krienes, K.: Die elliptische Tragfläche auf potential- theoretischer Grundlage. Z.A.M.M. 1940, S. 65.
- (87) Kucharski, W.: Neuere Gesichtspunkte für den Ent- wurf von Schiffsrudern. Jb. d. S.T.G. 1931, S. 206.
- (88) Kupper, A.: Ergebnisse von Leitwerkstheorien bei verschiedener Profildicke (Ebenes Problem). Lufo. 1943, S. 22.
- (89) La Cour, P.: Die Windkraft und ihre Anwendung zum Antrieb von Elektrizitätswerken. Leipzig, 1905.

- (90) Laidlaw, W.: Spanwise and chordwise loadings for rectangular wings of aspect ratio near unity. Journ. Aeronautical Sciences, 1953, S. 783.
- (91) V Lange/Wacke: Prüfbericht über 3- und 6-Komponentenmessungen an der Zuspitzungsreihe von Flügeln kleiner Streckung. Z.W.B. U.M. 1023/5; NACA T.M. No. 1176.
- (92) Larsen, K.: Review of previously published rudder studies. Exp. Tow. Tank. T.M. No. 79 (1946).
- (93) Lawrence, H.: The chordwise lift distribution of low aspect ratio wings and wing-body combinations. Cornell Aeronautical Laboratory Rep. No. AF-673-A-1 (1950).
- (94) Lawrence, H.: The lift distribution on low aspect ratio wings at subsonic speeds. Journ. of Aeronautical Sciences, Bd. 18, H. 10, S. 683, Okt. 1951.
- (95) Lewis, C.: Rudders. A profitable field for experiment. Motorboat and Yachting, 75, 1942, S. 241.
- (96) Locke, F.: An empirical study of low aspect ratio lifting surface with particular regard to planing craft. Journal Aeronautical Sciences, 1949, S. 184.
- (97) Lotz, J.: Theorie von Flügeln mit Ausschnitten. Z.F.M. 1932. S. 140, H. 14.
- (98) Lotz, J.: Beeinflussung der Auftriebsverteilung durch den Schraubenstrahl. Jb. d. Lilienthalges. 1936, S. 57.
- (99) V Low, L., und Stone, H.: The Aerodynamic characteristics of wings in combination with slender bodies of revolution. Cornell Aeronautical Laboratory, Bumblebee Rep. CM-679 (1951).
- (100) Mandel, Ph.: Some hydrodynamic aspects for design of appendages. S.N.A.M.E. Nov. 1953 (Hansa 1954, Nr. 37/39, S. 1684).
- (101) Mangler, W.: Die Auftriebsverteilung am Tragflügel mit seitlichen Scheiben. Lufo. 1939, S. 219.
- (102) Mangler, W.: Der kleinste induzierte Widerstand eines Tragflügels mit kleinem Seitenverhältnis. Jb. d. D. Lufo. 1939, I, S. 139.
- (103) V Marshall, W.: The distribution of pressure over the surface of wings of small aspect ratio. The College of Aeronautics Cranfield Rep. No. 52 (Febr. 1952).
- (103a) Maruhn, K.: Druckverteilungsrechnungen an elliptischen Rumpfen und in ihrem Außenraum. Jb. d. D. Lufo. 1941, I, S. 135.
- (104) V Matthias, F.: Untersuchungen über den Druck und Druckmittelpunkt an lotrechten Platten, die recht- und spitzwinklig zur Fahrtrichtung durch Wasser geschleppt werden. Schiffbau, 1911/12, S. 249, 299, 351, 396.
- (105) V Michael, W.: Flow studies in the vicinity of a modified flatplate rectangular wing of aspect ratio 0,25. NACA T.N. 2790 (1952).
- (106) Müller, P.: Diskussionsbeitrag zum Vortrag Kucharski. Jb. d. S.T.G. 1931, S. 247.
- (107) Multhopp, H.: Die Anwendung der Tragflügeltheorie auf Fragen der Flugmechanik. Lilienthalges. Bericht S. 2, 35.
- (108) Multhopp, H.: Tragflügeltheorie 2. Näherung. Taschenbuch für den Flugzeugentwurf. D 3, 1946.
- (109) Munk, M.: Systematische Versuche an Leitwerkmodellen. Technische Berichte der Flugzeugmeisterei, 1917, S. 168.
- (110) Nagel, F.: Untersuchungen an Flügeln mit Endscheiben. Erg. d. A.V.A. Göttingen, III, S. 95.
- (111) Naumann, A.: Messungen eines Profils im Anstellwinkelbereich  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ . Jb. d. D. Lufo. 1940, I, S. 51.
- (112) Overgaard, O.: Recent development of the ship rudder with particular reference to the Flettner Rudder. S.N.A.M.E. 1926, S. 205.
- (113) Palm, H., und Schepler, H.: Ergebnisse der Probefahrt der „Tina Onassis“. Schiff und Hafen, 1954, H. 1, S. 21.
- (114) Pengelly, H.: Some steering trial results of H.M.S. „Nelson“. T.I.N.A. 1932, S. 220.
- (115) Pitre, A., und Thews, J.: Comparative rudder tests-model and full scale. United states Experimental Model Basin Rep. 397.
- (116) Prandtl, L.: Der induzierte Widerstand von Mehrdeckern. Erg. d. A.V.A. Göttingen, II, S. 9.
- (117) Prandtl, L.: Der induzierte Widerstand von Flügeln mit Endscheiben. Erg. d. A.V.A. Göttingen, III, S. 17.
- (118) Remmers, K.: Ein neues Verfahren zur Durchführung von Rudermessungen an frei fahrenden und steuernden Schiffmodellen HSVA Bericht Nr. 867 (1944).
- (119) V Remmers, K.: Meßtechnik für Ruderversuche und für die Erprobung der Drehfähigkeit und Kursstabilität. HIV-Bericht Nr. 41 (1948).
- (120) V Remmers, K.: Meßtechnik für Ruderversuche und für die Erprobung der Drehfähigkeit und Kursstabilität von Schiffen. HIV-Bericht, Sept. 1950.
- (121) de Rooij, G.: Rudder and its accessories. Practical Shipbuilding, S. 196, Haarlem, 1953.
- (122) Rotta, J.: Tragwerksysteme kleinsten induzierten Widerstandes. Taschenbuch für den Flugzeugentwurf D I (1946).
- (123) Ruden, P.: Theorie des Tragflügelprofils in der Nachbarschaft sprunghafter Gesamtdruckänderungen (Strahl- und Windschatten mit Rechteckprofilen) Jb. d. D. Lufo. 1939, I, S. 98.
- (124) Ruden, P.: Das NACA-Profil in der Nachbarschaft rechteckiger Strahl- und Windschattenprofile. Jb. d. D. Lufo. 1939, I, S. 114.
- (125) Ruden, P.: Windkanalmessungen über den Windschatteneinfluß auf Rechtecktragflügeln mit symmetrischem Profil. Jb. d. D. Lufo. 1940, I, S. 204.
- (126) Schade, H.: Messungen von Steuerfähigkeit und Rudermomenten an der Doppelruderanlage „M.S. Bloemfontein“. Schiffbau, 1935, S. 114.
- (127) V Schaffran, K.: Modellversuche zur Ermittlung der Fahrtstabilität von Unterseebooten. Schiffbau, 1914/15, S. 207.
- (128) Schaffran, K.: Neue Schiffs- und Ruderkonstruktionen zur Ausnutzung von Wirbel- und Slipverlusten zum Vortrieb. W.R.H. 1933, S. 309.
- (129) Schaffran, K.: Schiffsformgerechte Ruderanlage für Binnenschiffe. Schiffbau 40, 1939, S. 395.
- (130) Schiffbau: Stromlinienförmiges Balanceruder (Pat.). Schiffbau 40, 1939, S. 235.
- (131) Schiffbau: Stromlinienförmiges Ruder (Pat.). Schiffbau, 1940, S. 42.
- (132) Schilhansl, M.: Der induzierte Widerstand von Flügeln mit kleinem Seitenverhältnis. Lufo. 1935, S. 55.
- (133) Schip en Werf: Hydrogap roer. Schip en Werf, 1952, S. 574.
- (134) Schlichting, H.: Einfluß der Turbulenz und der Reynoldschen Zahl auf die Tragflügeleigenschaften. Ringbuch der Luftfahrttechnik I A 1.
- (135) Schlichting, H.: Neuere Beiträge der Forschung zur aerodynamischen Flügelgestaltung. Jb. d. D. Lufo. 1940, I, 113.
- (136) V Schlichting, H., und Jacobs, W.: Experimentelle Untersuchungen über den Tragflügel in inhomogener Strömung. Jb. d. D. Lufo. 1940, I, S. 81.
- (137) Schmitz, F.: Aerodynamik des Flugmodells. Berlin, 1942.
- (138) Schneider, Th.: Ruder für Schiffe (Pat.). Schiffbau 43, 1942, S. 339.
- (139) Schoenherr, K.: Steering. Principles of naval architecture. II., S. 197, New York, 1949.
- (140) Scholz, N.: Beiträge zur Theorie der tragenden Fläche. Ingenieur Archiv, 1950, Heft 2, S. 84.
- (141) V Scholz, N.: Kraft- und Druckverteilungsmessungen an Tragflächen kleiner Streckung. Forschung, Bd. 16, 1949/50, S. 85.
- (142) Scholz, W.: Neuartige Ruderkonstruktionen im Schiffbau. Z.d.V.D.I. 1930, Nr. 47.

- (143) Schrenk, O.: Rauigkeitseinflüsse an Tragflügeln. Erg. d. A.V.A. Göttingen, III, S. 112.
- (144) Schubert, R.: Arbeitsblätter für den Entwurf und die Polarenberechnung von Tragflügeln. Blohm & Voß, Fo.-Ber. 198 (1940).
- (145) Schultze, E.: On the calculation of the spanwise center of pressure on a wing of small aspect ratio. Z.A.M.P. 1953, H. 3, S. 207.
- (146) Schwarz, T.: Über Rudermomentenmessungen und Drehkreisbestimmungen von Schiffen. Jb. d. S.T.G. 1910, S. 694.
- (147) Seiferth, R.: Messung eines Profils bei Anstellwinkel von 0° bis 360°. Erg. d. A.V.A. Göttingen III., S. 78.
- (148) Shipbuilding and Shipping Record: Twin rudders. Shipb. Sh. Rec. 80. 1952, S. 695.
- (149) Shipbuilding and Shipping Record: Improving the steerability of twin-screw ships by auxiliary rudders. Shipb. Sh. Rec. 75, 1950, S. 41, 103.
- (150) Smith-Keary, E., und Todd, F.: Full-scale steering experiments on three ships and comparison with models tests. Inst. of Marine Engineers 1934 Oct.
- (151) Stanton, T.: On the resistance of thin plates and models in a current of water. T.I.N.A. 1909, S. 164.
- (152) Stüper, J.: Beitrag zum Problem des durch einen Feistrahls hindurchgesteckten Tragflügels. Lufo. 1935, S. 267.
- (153) Stüper, J.: Einfluß des Schraubenstrahls auf Flügel und Leitwerk. Lufo. 1938, S. 181.
- (154) Surwillo, W.: Abschnitt XVI. Bestimmung des am Ruderschaft erforderlichen Drehmomentes bei Vor- und Rückwärtsfahrt. Schiffsdeckmaschinen, S. 173, Berlin 1954.
- (155) Swanson, R., und Crandall, S.: Lifting-surface-theory aspect ratio corrections to the lift and hinge-moment parameters for full span elevators on horizontal tail surfaces. Naca — Rep. No. 911 (1946).
- (156) Swaty, F.: Untersuchungen über die Beeinflussung der Beizahlen des Profils NACA 0018 durch Kürzungen an der Profilhinterkante. Jb. d. D. Lufo. 1940, I., S. 58.
- (157) The Motor Ship: A rudder shaped to meet the propeller flow. The Mot. Ship 25. 1944/45, S. 166.
- (158) The Motor Ship: Rudder designed for tugs. The Motor Ship 34. 1953, S. 170.
- (159) The Shipbuilder: A new rudder design. Addition of two spezial designed wing rudders to the main rudder. The Shipbuilder 57. 1950, S. 53.
- (160) Thieme, H.: Strömungskräfte an Quertriebsflächen von kleinem Seitenverhältnis. Schiff u. Hafen 1951, S. 123; HSVA-Bericht Nr. 955 (1950).
- (161) Thieme, H.: Konturgleichung für Profile. HSVA-Ber. Nr. 965 (1951).
- (162) Thieme, H.: Systematik für Ruder- und Propellerprofile. Schiff u. Hafen 1952, S. 165.
- (163) Thieme, H.: Über die Modellgröße bei Ruder- und Steuerversuchen. HSVA 21. 4. 1952.
- (164) Thieme, H.: Ruder. Handbuch der Werften 1952, S. 89.
- (165) V Thieme, H.: Ruderversuche mit dem Rudermeßgerät. HSVA-Ber. Nr. 997 (1952).
- (166) Thieme, H., und Möckel, W.: Modelluntersuchungen der Manövrierfähigkeit bei Rückwärtsfahrt für das Zweischrauben - Rhein - Motorschiff „Beethoven“. HSVA-Ber. Nr. 993 (1952).
- (167) Thieme, H.: Über strömungstechnische Grundlagen zur Bestimmung von Steuereigenschaften. Schiff u. Hafen 1954, Nr. 9, S. 510.
- (168) V Tosti, L.: Low-speed static stability and damping-roll characteristics of some swept and unswept low-aspect-ratio wings. NACA T.N. 1468 (1947).
- (169) Truckenbrodt, E.: Tragflächentheorie bei inkompressibler Strömung. W.G.L. Jahrbuch 1953.
- (170) V Truckenbrodt, E.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen an symmetrisch angeströmten Pfeil- und Deltaflügeln. Zeitschr. für Flugwissenschaften 1954, S. 185.
- (171) Tutin, J.: The balanced reaction rudder. Marine Engineering and Shipping Age 1932, S. 114.
- (172) V Voepel, H.: Über Tragflügel kleiner Streckung. Unveröffentlichter A.V.A.-Bericht 1947.
- (173) Voß, H.: On nonplanar surfaces of very low aspect ratio. Journ. Aeronautical Sciences 1952, Nr. 2, S. 136.
- (174) Wadlin, K., und Ramsen, J., und Vaughan, V.: The hydrodynamic characteristics of modified rectangular flat plates having aspect ratios of 1,00 and 0,25 and operating near a free water surface. NACA T.N. 3079 (1954).
- (175) Wahl, G.: Diskussionsbeitrag zum Vortrag Kucharski. Jb. d. S.T.G. 1931, S. 252.
- (176) Weinig, F.: Beitrag zur Theorie des Tragflügels endlicher insbesondere kleiner Spannweite. Lufo. 1936 (13), S. 405.
- (177) Weinig, F.: Die Berechnung des induzierten Widerstandes bei kleinem Seitenverhältnis. Lufo. 1937 (14), S. 434.
- (178) Weinig, F.: Auftrieb und Widerstand des Tragflügels kleiner Spannweite. Z.W.B. F.B. 1665 (1942).
- (179) Weissinger, J.: Über die Auftriebsverteilung von Pfeilflügeln. Z.W.B. F.B. 1553 (1942).
- (180) Weissinger, J.: Über die Erweiterung der Prandtl'schen Theorien der tragenden Linie. Mathematische Nachrichten. H. 1/2 1949, S. 45.
- (181) Wick, B.: Chordwise and spanwise loadings measured at low speed on a triangular wing having an aspect ratio of two and an NACA 0012 airfoil section. NACA T.N. 1650 (1948).
- (182) Wieghardt, K.: Über die Auftriebsverteilung des einfachen Rechteckflügels über die Tiefe. Z.A.M.M. 1939, S. 257.
- (183) Wieselsberger, C.: Experimentelle Prüfung der Umrechnungsformeln. Erg. d. A.V.A. Göttingen I., S. 50.
- (184) Wieselsberger, C.: Flügel mit rauher Druckseite. Erg. d. A.V.A. Göttingen I., S. 69.
- (185) V Winter, H.: Strömungsvorgänge an glatten und profilierten Körpern bei kleinen Spannweiten. Forschung 1935, S. 40, 67.
- (186) World Shipbuilding: Rudder with fins. World Shipb. 2. 1952, S. 32.
- (187) World Shipbuilding: Improved rudder for tugs. World Shipb. 3. 1953, S. 121.
- (188) Zahn: Flow and force equations for a body revolving in a fluid. NACA Rep. No. 323.
- (189) Zimmermann, C.: Characteristics of clark-y-airfoils of small aspect ratios. NACA Rep. No. 431 (1932).
- (190) Zimmermann, C.: Aerodynamic characteristics of several airfoils of low aspect ratio. NACA T.N. No. 539.
- (191) Zimmermann, C.: Tragflügel sehr kleiner Streckung. Journ. Aeronautical Sciences 1935, S. 156.

Der Abschluß dieses Berichtes bedeutet nicht den Abschluß der Arbeiten zum Forschungsvorhaben „Ruder“. Vielmehr ist der Bericht Anfang und Begründung weiterer Arbeiten. Er soll Umfang und Bedeutung des für das Ruderproblem in Betracht kommenden Materials aufzeigen. Er beschreibt auch die fachlichen Voraussetzungen zu dieser Arbeit, deren

sachliche Grundlagen in ebenso sinnvoller wie großzügiger Weise durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft geschaffen worden sind. Mit einer möglichst wirkungsvollen Fortsetzung der Arbeiten hofft der Verfasser der Deutschen Forschungsgemeinschaft am besten seinen tätigen Dank sagen zu können.