

37 | 1957

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

W. Möckel und H. Thieme

Rundlaufversuche mit einem geraden und einem gekrümmten Modell

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Rundlaufversuche mit einem geraden und einem gekrümmten Modell

W. Möckel und H. Thieme

(300. Mitteilung der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt, Bericht aus dem Institut für Schiffbau der Universität Hamburg)

Die ersten Versuche mit dem neuen Rundlaufgerät der Hamburgischen Schiffbauversuchsanstalt dienten der praktischen Erprobung dieser für Deutschland neuartigen Anlage und zugleich einer ersten stichprobenartigen Nachprüfung der hydrodynamischen Analogie zwischen Modellkrümmung und Bahnkrümmung. Trotz der geringen Meßgenauigkeit der zunächst provisorisch angewandten Meßtechnik ist die Annäherung zwischen den nach der Analogie sich entsprechenden Zuständen der beiden Modelle so stark, daß bei Fortsetzung des Untersuchungsprogrammes nach Fertigstellung der Gesamtanlage eine recht treffende Gleichwertigkeit von Modellkrümmung und Bahnkrümmung erwartet werden darf. Die Messungen haben auch die Aufstellung eines Giermomentendiagrammes erlaubt, wie es zur quantitativen Ermittlung der wichtigsten Kennzahlen für Steuereigenschaften von Schiffen bequem und anschaulich ist.

A. Anlaß der Untersuchung

Der Neuaufbau der Hamburgischen Schiffbauversuchsanstalt, der zur Zeit noch andauert, umfaßt neben der Wiedererrichtung erprobter Anlagen auch die Ersteinrichtung von experimentellen Möglichkeiten für in Zukunft dringlicher werdende Bedürfnisse. Eine solche Anlage ist der in Verbindung mit dem kleinen Tank stehende Manövrierteich mit dem Rundlaufgerät. Das Rundlaufgerät, ein um einen Mittelpfosten schwenkender Dreharm von fast 12 Meter Ausladung und entsprechendem Gegengewicht, besitzt den für Mehrkomponentenmessungen angenehmen Vorzug einer geometrisch nicht beschränkten Meßzeit. Hierdurch kann es bei relativ kleinen Modellen, z. B. Rudern, als recht bequeme Entlastung des normalen Schlepptanks dienen. Eigentliche Aufgabe der Rundlaufanlage aber ist die Untersuchung der Kräfte und des Verhaltens von Schiffmodellen bei Bewegung mit Drehung. Solche Untersuchungen ergänzen die Beobachtungen an frei manövrierenden Schiffmodellen und Schiffen. Der Vorteil des Rundlaufversuches gegenüber diesen Freifahrtuntersuchungen liegt in der größeren Genauigkeit für Einstellung und Kontrolle für Geschwindigkeit, Winkel und Drehungen und der unmittelbaren Vergleichsmöglichkeit mit theoretischen Ergebnissen. So kann und soll der Rundlaufversuch die Untersuchung des frei manövrierenden Modelles zwar nicht ersetzen, er kann aber einfacher, genauer und umfangreicher die Steuereigenschaften eines Schiffes durch gemessene Kennzahlen beschreiben. Diese Kennzahlen sind dabei der Nachrechnung leichter zugänglich, als dies bei den relativ wenigen Zahlenergebnissen des freien Manövrierversuches der Fall ist.

Im Prinzip kann in zweierlei Art eine Messung am Rundlaufgerät vorgenommen werden. Im einen Falle geht es darum, unter Vorgabe von Geschwindigkeit, Drehung und Gierwinkel des Modelles, seine Querkraft, sein Moment um die Hochachse, das Giermoment, und seinen Widerstand — also in einer Dreikomponentenmessung — zu messen. Im anderen Falle wird nur Geschwindigkeit und Drehung vorgegeben und das Giermoment gemessen. Der Gierwinkel wird dabei so eingestellt, daß die hydrodynamischen Querkraft mit der Zentrifugalkraft im Gleichgewicht stehen. Damit erhält man für den jeweiligen Modellzustand das Giermoment abhängig von der Drehung. Dieses Diagramm hat für die Steuereigenschaften durch seine zahlreichen Charakteristiken eine ähnliche Bedeutung wie etwa die Hebelarmkurve für die Querstabilität eines Schiffes sie hat. Diese Messung ist dazu noch beson-

ders einfach im Aufwand an Vorbereitungen und Zeit. Im ersten Falle, der bei Beschränkung weiterer Freiheitsgrade dann auch auf eine Sechs-Komponentenmessung ausgedehnt werden könnte, erhält man alle 3 (bzw. 6) Komponenten der am Modell angreifenden Wasserkraft in Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Drehung und den drei möglichen geometrischen Einstellwinkeln des Modelles relativ zur Strömung bzw. zur Wasseroberfläche.

So ergab sich als Anlaß der Untersuchung zunächst eine allgemeine meßtechnische Erprobung des Rundlaufgerätes an sich. Im Hinblick auf einen ökonomischen Aufwand bei der Ausgestaltung der Anlage war es wünschenswert, diese Erprobung noch vor Festlegung der endgültigen Ausrüstung vorzunehmen. Weiter sollte ein besonderes Charakteristikum aus der Theorie der drehenden Querkörperskörper experimentell überprüft werden. Es besteht danach bei Beschränkung auf kleine Gierwinkel eine Analogie zwischen Bahnkrümmung und Modellkrümmung in der Weise, daß die Kräfte am mit Gierwinkel α auf der mit R_D gekrümmten Bahn laufenden geraden Modell die gleichen sind wie die Kräfte am mit Gierwinkel α auf gerader Bahn laufenden Modell, dessen Mittellinie den Krümmungsradius — R_K besitzt. Diese Nachprüfung sollte dann mit einer praktischen Aufmessung des genannten Giermomentendiagrammes verbunden werden. Ähnliche Diagramme waren bisher nur von Davidson [1] in beschränkter Form der Darstellung veröffentlicht worden. In [3] war ein solches Diagramm als theoretisches Ergebnis für ein angenommenes Beispiel mehrerer Zustände gezeigt worden. Im Hinblick auf die praktische Bedeutung dieser Darstellung war es also notwendig, erste Erfahrungen mit seiner experimentellen Bestimmung zu machen.

Die Untersuchung dient — gerade wegen ihres vorerst mehr qualitativen Charakters — dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft großzügig geförderten Forschungsprogramm über Steuereigenschaften.

B. Modelle, Einrichtung und Durchführung der Versuche

Zur Messung standen zwei Modelle zur Verfügung. Das normale — d. h. nicht gekrümmte — Modell entspricht mit dem Modellmaßstab 1:7 einer Hamburger Hafenbarkasse, die in Naturgröße längere Zeit der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt für aufschlußreiche Untersuchungen von Antriebsfragen und Steuereigenschaften zur Verfügung stand. Neben diesem Modell (Nr. 80) stand ein in seiner Mittellinie mit dem Radius $R_K = -4,565$ m gekrümmtes Modell (Nr. 215) zur Verfügung, das dem

geraden im übrigen soweit wie irgend möglich gleich. Bei Festhalten der Länge ergab sich durch die Krümmung eine ganz geringfügige Vergrößerung der Verdrängung. Beide Modelle sind im Schrägschleppversuch [5] bereits weitgehend untersucht worden. In [5] sind auch ausführliche Angaben über die Modelle mit Linienriß enthalten. Die für diese Untersuchung wesentlichen Abmessungen sind in Tabelle 1 hier zusammengestellt.

Tabelle 1
Die untersuchten Anordnungen

$\frac{F_L \cdot L_L}{V}$	An- ordng.	Mod. Nr.	$\frac{L_{WL}}{R_K}$	φ [m°]	F_R [m°]	$k_n = n \sqrt{\frac{D_P}{g}}$	$\frac{L_L}{R_K}$
11,78	a	80	0	0,03365	0,007	ohne Prop	0
11,78	b	80	0	0,03365	0,007	1,33	0
11,78	c	80	0	0,03365	0	ohne Prop	0
11,78	d	80	0	0,03365	0,0035	ohne Prop	0
11,70	e	215	-0,4	0,03387	0	ohne Prop	-0,37

Dabei ist:

v die Verdrängung in m³,
 D_P der Propellerdurchmesser,
 n die sekundliche Drehzahl,
 F_R die Ruderfläche.

(Das größere Ruder entspricht genau dem in [5] beschriebenen, das kleinere Ruder ist durch halbieren der Ruderslänge entstanden, besitzt also bei halber Fläche das doppelte Seitenverhältnis.)

$L_{WL} = 1,846$ m die Länge in der Wasserlinie,
 $F_L = 0,234$ m² die Lateralfäche,
 $L_L = 1,691 = 0,927 \cdot L_{WL}$ die Momentenbezugslänge,
die sich nach [3] aus den dort unter (3) und (5) angegebenen Beziehungen schnell bestimmen läßt.

Mit der Völligkeit der Lateralfäche

$$\tau = \frac{F_L}{L_{WL} \cdot T} = 0,925$$

kann man die durch

$$L_L = \frac{1}{F_L} \int_0^T L_z^2 dz$$

definierte Länge L_L für trapezförmige Umrisse des Laterales auch gut durch

$$L_L = L_{WL} \cdot \frac{1}{3} \left(4\tau + \frac{1}{\tau} - 2 \right)$$

annähern.

Ein gekrümmtes Modell kann man etwa mit einem kreisgewölbten Tragflügelprofil vergleichen. Für solche Profile wird üblicherweise die Pfeilhöhe der Wölbung als relative Wölbung $\varphi = f/L_L$ angegeben. Zur Umrechnung zwischen der „Wölbung“ φ und der hier zweckmäßigeren Darstellung als „Krümmung“ L_L/R_K dient die geometrische Beziehung (1), die bei kleinen Krümmungen gut durch (2) angenähert werden kann.

$$\varphi = \frac{R_K}{L_L} + \sqrt{\left(\frac{R_K}{L_L}\right)^2 - \frac{1}{4}}; \quad \frac{L_L}{R_K} = \frac{8\varphi}{1 + 4\varphi^2} \quad (1)$$

$$\frac{L_L}{R_K} \approx 8\varphi. \quad (2)$$

Die auf die Arbeiten von Bairstow, Klemperer und Weinblum zurückgehende Analogieanwendung von gekrümmten Modellen zur Darstellung der Verhältnisse bei Kreisfahrt bedeutet, daß die mit $L_L/R_D = \alpha$ bezeichnete „Drehung“ oder Bahnkrümmung bei einem geradeausfahrenden gekrümmten Modell nach (3) sich aus der Modellkrümmung ergibt.

$$\alpha_{\text{eff}} = + \frac{L_L}{R_K}. \quad (3)$$

Hat man nun das gekrümmte Modell am Rundlauf, also bereits auf Kreisbahn mit Drehung α untersucht, so ergibt sich die für diesen Zustand mit der Theorie zu vergleichende „effektive“ Krümmung nach (4).

$$\alpha_{\text{eff}} = + \frac{L_L}{R_K} + \alpha. \quad (4)$$

Als Versuchseinrichtung stand neben dem Rundlaufbecken mit Säule und Dreharm als provisorisches Hilfsmittel zur Kraftmessung hierbei das Rudermeßgerät der HSVA zur Verfügung, das in [4] bereits näher beschrieben ist. Eine Verschiebeeinrichtung, um die verschiedenen Radien einstellen zu können, bestand noch nicht, so daß bei jeder Radienänderung ein Neuaufbau nötig war. Allein schon hieraus ergab sich das Gebot, den Umfang der Messungen zunächst auf das für die gestellten Ziele (siehe A.) notwendige Maß zu beschränken. Ähnliche Verzögerungen in der Durchführung der Messung ergaben sich durch die noch nicht abgeschlossene Klärung der Antriebsregelung und Kontrolle.

Da das Rudermeßgerät hierbei für einen Zweck eingesetzt wurde, für den es weder nach seiner Methodik noch seiner Anordnung gedacht war, war es ratsam, die Messung mit möglichst wenig qualifizierten Komponenten anzulegen. Dafür ist aber wieder die reine Giermomentenmessung ganz besonders geeignet. Das Modell wurde also unter das am Rundlauf hängende Rudermeßgerät gefahren und dann starr an einer Stange angeschlossen, die vertikal in die für den Ruderschaft bestimmte Buchse eingeführt ist. Damit wurde dann mit Tauchung und Trimm der Ruhelage auch bei der Kreisfahrt gemessen. Bei der relativ mäßigen Geschwindigkeit durfte ein nur unwesentlicher Einfluß auf die dem frei trimmenden und tauchenden Zustand entsprechenden Kräfte erwartet werden. Es wurde dann zunächst der Gierwinkel des Modells fest auf einen an sich beliebigen kleinen Wert eingestellt. Mit Erreichen der Sollgeschwindigkeit wurde dann unter Beobachtung der Querkraftanzeige des Rudermeßgerätes der Gierwinkel so lange verstellt, bis die Querkraft Null angezeigt wurde. Dieser Gierwinkel wurde nun festgehalten und die Anzeige von Querkraft hinsichtlich seiner Nullage kontrolliert. Über eine gewisse Meßzeit hinweg wurde dann die Giermomentenanzeige abgelesen und auch eine grobe Notiz über die Anzeige des Widerstandes gemacht. Die gewissen Schwankungen dieser Anzeige waren unabhängig von den Ortsbedingungen des Modells, also auch von der während eines Umlaufes wegen der geometrischen Form des Beckens sich sprunghaft ändernden Randentfernung; sie deuten aber auf Ungleichmäßigkeiten im Drehmoment der Anlage hin, die durch gewisse konstruktive Weichheiten einerseits und durch mangelnde Stabilisierung des Antriebes andererseits zu dieser Wirkung kommen können.

Es ergab sich so eine im Prinzip sehr einfache Meßmethode. Der Zeitaufwand dabei rührt überwiegend von den verschiedenen Unvollkommenheiten eines provisorischen Aufbaus her.

C. Ergebnisse und Vergleich mit Schrägschleppversuchen

Die „Situation“ der beiden Modelle während der Fahrten mit Drehung geht aus den Bildern 1 und 2 hervor. Wegen der vereinfachten Art der beschriebenen Meß-

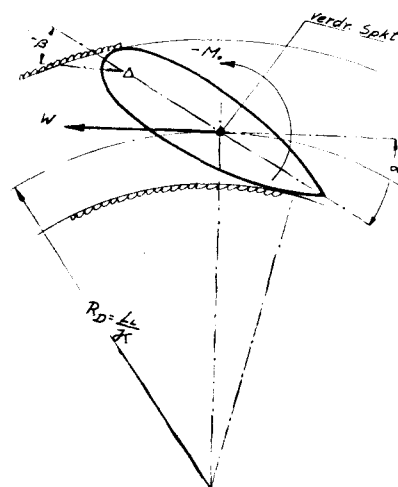


Bild 1 Schema für die Giermomentenmessung des geraden Modells bei Drehschleppfahrt

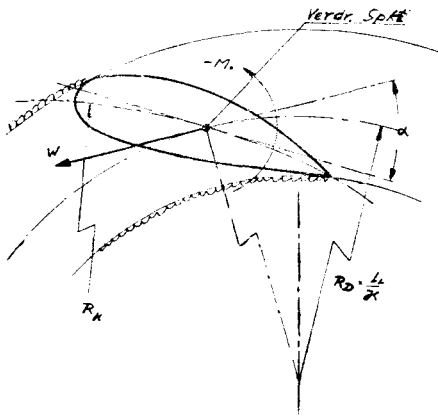


Bild 2 Schema für die Giermomentenmessung des gekrümmten Modells bei Drehkreisfahrt

Tabelle 2
Tabelle der Versuchsergebnisse

Anordg.	R_D [m]	α	C_M	C_W	α°	Fr
b	4,5	0,376	-0,03703	0,0562	9,2°	0,1748
b	6,5	0,26	-0,02502	0,050	4,7°	0,1726
b	8,5	0,199	-0,01891	0,0350	2,8°	0,1711
b	10,5	0,161	-0,01357	0,02255	1,0°	0,1745
c	4,5	0,376	-0,02603	0,02984	10,7°	0,1751
c	6,5	0,26	-0,0145	0,0230	8,5°	0,1726
c	8,5	0,199	-0,01132	0,0156	4,5°	0,1745
c	10,5	0,161	-0,00676	0,0155	4,5°	0,1749
d	4,5	0,376	-0,03245	0,0625	11,7°	0,1748
d	6,5	0,26	-0,01883	0,0224	7,8°	0,1753
d	8,5	0,199	-0,01584	0,0237	6,4°	0,1702
d	10,5	0,161	-0,0115	0,0158	6,1°	0,173
e	2	0,845	-0,0394	0,0878	24,0°	0,1694
e	3	0,564	-0,00827	—	23,0°	0,1712
e	7	0,242	+0,02258	—	14,0°	0,1748
a	2,5	0,676	—	—	11,0°	—
a	4,0	0,423	—	—	9,0°	—
a	6,0	0,282	—	—	4,0°	—
a	8,5	0,199	—	—	4,8°	—
a	8,5	0,199	—	—	5,2°	—
a	9,0	0,188	—	—	5,3°	—
a	10,0	0,169	—	—	3,8°	—
a	10,0	0,169	—	—	4,0°	—
a	10,5	0,161	—	—	2,8°	—

technik war es zweckmäßig, nicht nur das gerade Modell für verschwindende Querkraftanzeige, sondern auch das gekrümmte Modell im gleichen Zustand zu untersuchen. Die Ergebnisse beider Modelle müssen daher auch über der wirklich vorhandenen Drehung $\alpha = L_L/R_D$ aufgetragen werden. Bei der Darstellung über α_{eff} , die in anderer Weise auch sehr anschaulich sein könnte, hätte das gekrümmte Modell bei einer endlichen Querkraft gefahren werden müssen, was eine störende Komplizierung im Verfahren ergeben hätte.

In Tabelle 2 sind die Daten der Meßpunkte angegeben. Die Kraftmessungen für den Modellzustand a) sind wegen zu spät erkannter Fehler bei der Geschwindigkeitsreproduktion unbrauchbar geworden. Die Angaben über Geschwindigkeit und Gierwinkel sind für die eigentliche Aufgabe dieser Untersuchung ohne Belang gewesen. Trotz der darum unterlassenen Nullkorrektur zeigen sie aber doch ein so charakteristisches Bild, daß sie im Hinblick auf eine qualitative Information hier mit aufgenommen worden sind. In Bild 3 bis 5 sind die Originalergebnisse als Giermoment, Gierwinkel und Widerstand abhängig von der Drehung dargestellt.

In Bild 3 ist durch Eintragung von Meßpunkten aus dem Schräggleppversuch [5] der Vergleich zwischen Bahnkrümmung und Modellkrümmung durchgeführt. In Punkt 1 ist zunächst gezeigt, daß die ebenfalls für $c_Q = 0$ aus dem Schräggleppversuch über Bild 7 gewonnene Momentenbeizahl absolut der Tendenz der Rundlaufmessung mit dem gekrümmten Modell entspricht. Das gleiche gilt für den Punkt 4, dort ist die effektive Krümmung des gekrümmten Modells (siehe Bild 2) gerade gleich Null. Über Bild 6 ist aus dem Schräggleppversuch die Momentenbeizahl genommen worden, die sich bei einer Querkraft entsprechend der Zentrifugalkraft der zu Punkt 4 gehörigen Drehung einstellt. Diese Querkraftbeizahl ergibt sich nach (5).

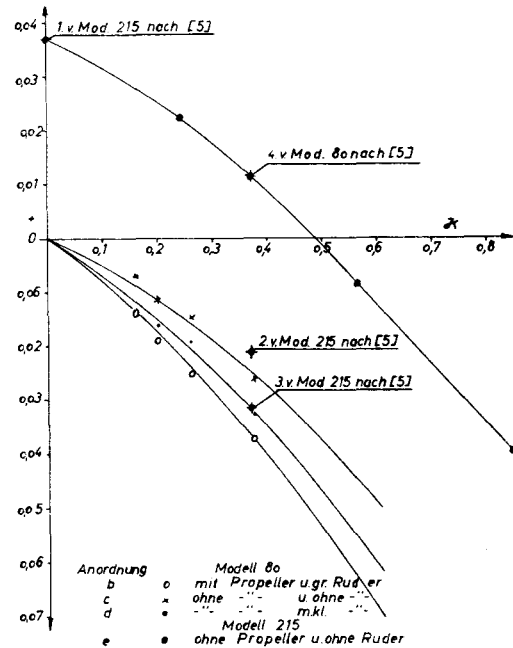


Bild 3 Giermoment $C_M = f(\alpha)$

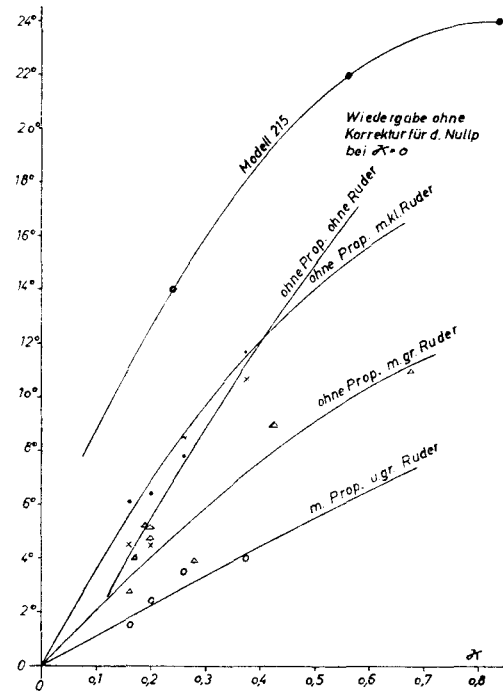


Bild 4 Gierwinkel $\alpha = f(\alpha)$

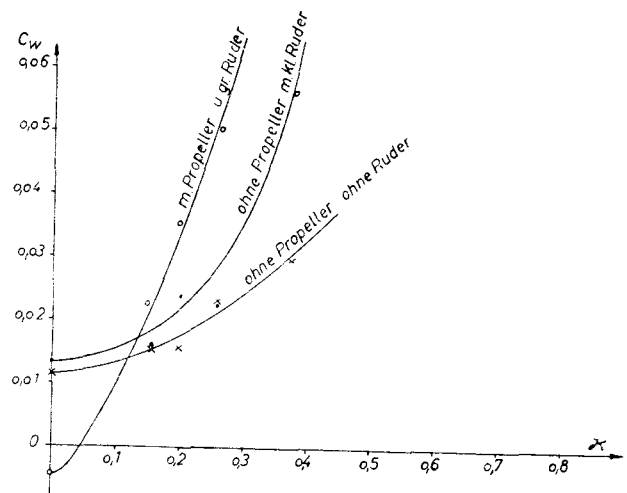


Bild 5 Widerstand $C_W = f(\alpha)$

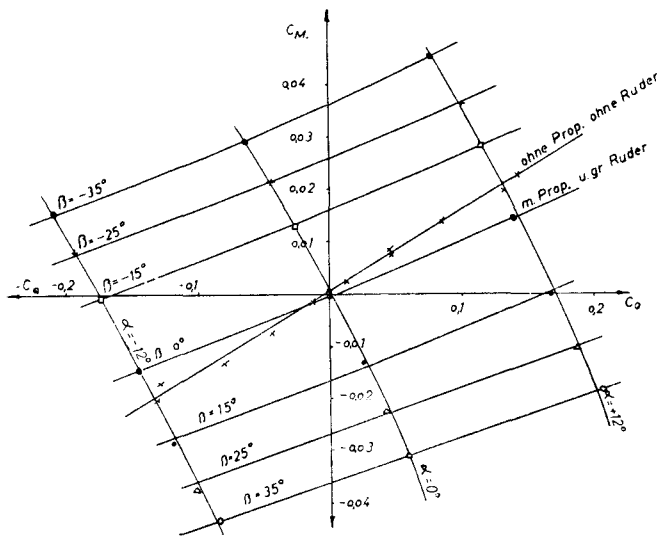


Bild 6 Giermoment $c_M = f(c_Q)$ Modell 80 nach [5]

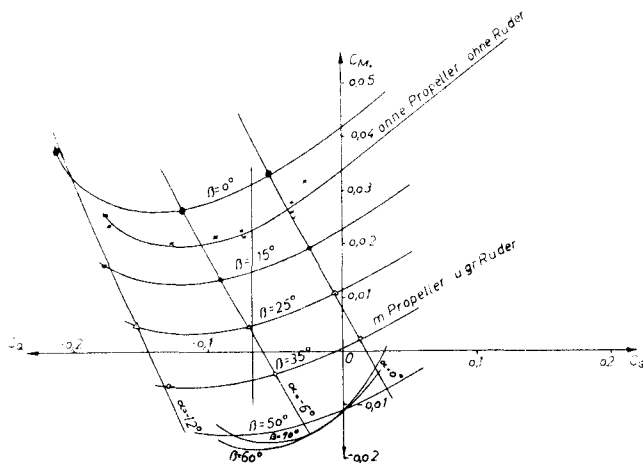


Bild 7 Giermoment $c_M = f(c_Q)$ Modell 215 nach [5]

$$C_Q = \frac{v'}{v} \cdot \frac{2 \cdot \kappa}{F_L \cdot L_L / v} \quad (5)$$

Hierbei muß nun die mitbeschleunigte Wassermasse mit beachtet werden. Nach Diagramm 4 von [3] erhält man

$$\frac{v'}{v} = 1,056.$$

In entsprechender Weise sind nun die Punkte 2 und 3 aus der Messung an zwei Modellzuständen des gekrümmten Modells bei Geradeausfahrt über Bild 7 auf die Kurven des geraden Modells bei Drehung übertragen worden. In Anbetracht des provisorischen Charakters der Untersuchung erscheint es verfrüht, die gewissen nicht all zu beträchtlichen Abweichungen, die sich in diesen Punkten für die zu überprüfende Analogie ergeben, mit letzter Feinheit zu diskutieren. Im Hinblick auf die andere nachgewiesene Übereinstimmung besonders bei Punkt 4 erscheint eine positive Klärung der Differenz mehr als wahrscheinlich. Hierzu bedarf es unbedingt des vollen Ausbaus des Rundlaufgerätes.

In Bild 8 ist schließlich mit den vorhandenen Meßpunkten, die dann dort nicht mehr eingetragen sind, und mit der aus dem Schrägschleppversuch ermittelten Ruderwirksamkeit (über Bild 6 und 7) ein sogenanntes „vollständiges“ Giermomentendiagramm aufgebaut worden, wie es empfehlenswert als Standardunterlage zur Beurteilung von Steuereigenschaften ist. Man kann daraus nicht nur die Drehung abhängig vom Ruderwinkel ablesen. Aus der Anfangstangente ergibt sich das Maß für die Kursstetigkeit. Das Verhältnis der Flächen unter den Kurven bei Stützruder und bei Ruder im Sinne der Drehung ergibt einen Zahlenwert im Sinne der Stützfähigkeit. Dieses Diagramm

kann dann unmittelbar alle Meßpunkte enthalten und braucht nicht aus der Interpolation einer größeren Zahl nicht darstellbarer Meßwerte interpoliert zu werden. An anderer Stelle wird auf die Verwendung des Giermomentendiagramms im Zusammenhang mit der Theorie und mit der Bildung von Kennzahlen noch näher eingegangen werden.

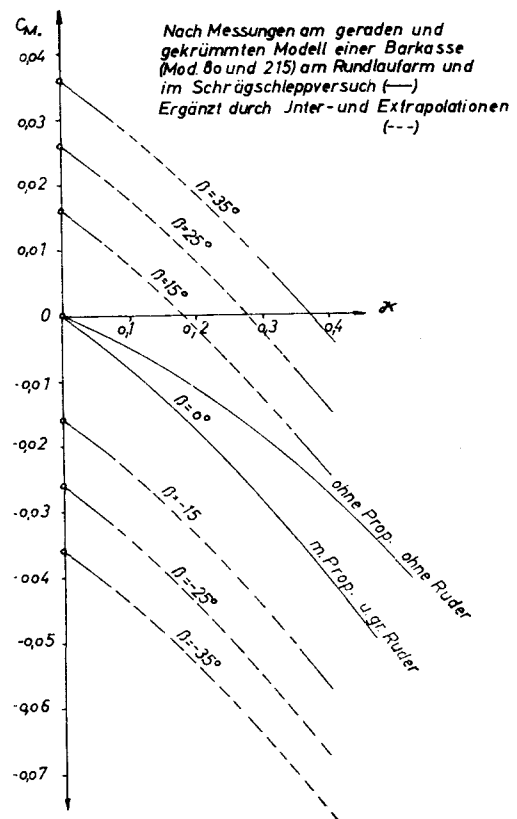


Bild 8 Giermoment für verschiedene Ruderlagen $c_M = f(x)$

D. Folgerungen

Die vor Fertigstellung der gesamten Anlage des Rundlaufgerätes mit diesem für die Steuereigenschaften so wichtigen experimentellen Hilfsmittel gewonnenen Erfahrungen haben das Prinzip der experimentellen Methode voll bestätigt, so daß der weitere Ausbau in dieser Richtung in gleicher Weise als berechtigt und notwendig erscheint. — Die hierfür notwendigen Maßnahmen sind inzwischen durch die Hilfe der Hansestadt Hamburg in Angriff genommen worden. — Die bisher vorliegenden Ergebnisse sprechen für eine Bestätigung der bekannten Analogie zwischen geradem und gekrümmtem Modell, so daß damit der Treffsicherheit der Anwendung der entsprechenden theoretischen Ansätze von der Seite her nichts mehr im Wege stehen wird. Mit umfassenderen Untersuchungen ähnlicher Art kann nach endgültigem Ausbau der Anlage in naher Zukunft begonnen werden.

E. Schrifttum

- [1] Davidson, K.S.M.: On the turning and steering of ships. S.N.A.M.E. 1944. S. 287/324.
- [2] Davidson, K., u. Schiff, L.: Turning and course-keeping qualities. S.N.A.M.E. 1946, S. 152/200.
- [3] Thieme, H.: Über strömungstechnische Grundlagen zur Bestimmung von Steuereigenschaften. Schiff und Hafen 1954, S. 510/518.
- [4] Thieme, H.: Balanceruder mit und ohne Vorflügel. — Modellversuche am Rudermeßgerät. Schiff und Hafen 1956, S. 158/165.
- [5] Thieme, H.: Schrägschleppversuche mit einem geraden und einem gekrümmten Barkassenmodell. Schiff und Hafen 1956, S. 274/291.