

413 | August 1981

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

S.D. Sharma und B. Zimmermann

### Schrägschlepp- und Drehversuche in vier Quadranten

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

## **Schrägschlepp- und Drehversuche in vier Quadranten**

S.D.Sharma, B. Zimmermann, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1981

© Technische Universität Hamburg-Harburg  
Schriftenreihe Schiffbau  
Schwarzenbergstraße 95c  
D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

**Schrägschlepp- und Drehversuche in vier  
Quadranten**

**S.D. Sharma  
B. Zimmermann**

**August 1981**

**Bericht Nr. 413**

Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

Schrägschlepp- und Drehversuche in vier Quadranten

von

S.D. Sharma und B. Zimmermann

Kurzfassung eines am 8. Mai 1981 vor dem  
STG-Fachausschuß Manövrieren (ehemals AGSVUM)  
in Geesthacht gehaltenen Vortrags

August 1981

Bericht Nr. 413

Inhalt

|                    | Seite |
|--------------------|-------|
| 1. Einleitung      | 1     |
| 2. Schiffmodell    | 2     |
| 3. Versuchstechnik | 3     |
| 4. Ergebnisse      | 5     |
| 5. Symbolerklärung | 6     |

Bilder

Bild 1 - Definitionsskizzen für

- (a) Koordinaten, Geschwindigkeiten und Kräfte
- (b) Schiebewinkel (= Driftwinkel)  $\beta$
- (c) "Gierwinkel"  $\gamma$

Bild 2 - Spantenriß und Stevenkontur der untersuchten  
Tankerform (HSVA-Modell Nr. 2507)

Bild 3 - Seitenkraftbeiwert als Funktion des Driftwinkels  
beim drehungsfreien Schieben

Bild 4 - Giermomentenbeiwert als Funktion des Driftwinkels  
beim drehungsfreien Schieben

Bild 5 - Seitenkraftbeiwert als Funktion des "Gierwinkels"  
beim driftfreien Gieren

Bild 6 - Giermomentenbeiwert als Funktion des "Gierwinkels"  
beim driftfreien Gieren

## Schrägschlepp- und Drehversuche in vier Quadranten

Dr.-Ing. S.D. Sharma und Dipl.-Ing. B. Zimmermann  
Institut für Schiffbau, Hamburg

### 1. Einleitung

Die größten hydrodynamischen Kräfte am manövrierenden Schiff sind die Seitenkraft und das Giermoment infolge von Schieben (hier gleichbedeutend mit Driften) und Gieren (hier gleichbedeutend mit driftfreiem Drehen) des Rumpfs. Um Schiffsmanöver rechnerisch simulieren zu können, müssen vor allem die Seitenkraft  $Y$  und das Giermoment  $N$  als Funktionen des Schiebewinkels  $\beta$  und der (dimensionslosen) Giergeschwindigkeit  $r'$  durch Modellversuche ermittelt werden, siehe Bild 1 und Symbolerklärung am Schluß.

Für gewöhnliche Rudermanöver reicht es dabei aus, einen relativ kleinen Bereich dieser Bewegungsvariablen zu untersuchen, z.B. üblicherweise  $\beta = -15$  bis  $15^\circ$  und  $r' = -0.3$  bis  $0.3$ . Wenn dagegen radikale Maschinenmanöver simuliert werden sollen, zumal unter Berücksichtigung größerer Steuer- oder Störkräfte in seitlicher Richtung, wie sie z.B. durch Querstrahler, Schlepper und Wind erzeugt werden können, kann man nicht mehr voraussetzen, daß die Seitengeschwindigkeit  $v$  und die Giergeschwindigkeit  $r$  klein gegen die Längsgeschwindigkeit  $u$  seien. Man muß dann die Kombinationen  $(u, v)$  und  $(u, r)$  jeweils sozusagen in allen vier Quadranten untersuchen, d.h. die Längsgeschwindigkeit  $u$  vorwärts und rückwärts in Verbindung mit der Seitengeschwindigkeit  $v$  (bzw. Giergeschwindigkeit  $r$ ) nach Steuerbord und Backbord. Dabei ist es hilfreich, analog dem üblichen Schiebewinkel (Bild 1b)

$$(1) \quad \beta = \arctan(-v, u)$$

einen "Gierwinkel" (Bild 1c)

$$(2) \quad \gamma = \arctan(r L/2, u)$$

einzuführen, der als der örtliche Driftwinkel am Heck infolge einer Drehgeschwindigkeit  $r$  und Längsgeschwindigkeit  $u$  veranschaulicht werden kann. Modellversuche, die sich über volle vier Quadranten der Winkelbereiche von  $\beta$  und  $\gamma$  erstrecken, sind aus der veröffentlichten Fachliteratur für Unterwasserformen nicht bekannt. (Dagegen gibt es zahlreiche Vierquadrantenuntersuchungen über die Windkräfte am Überwasserschiff.)

In den Jahren 1979-81 wurden im Rahmen des Teilprojekts A2 des Sonderforschungsbereichs 98 "Schiffstechnik und Schiffbau" in Hamburg u.a. solche Vierquadrantenversuche an einigen repräsentativen Schiffsmodellen durchgeführt. Die typischen Ergebnisse eines dieser Modelle sollen hier im Vorgriff auf den Abschlußbericht über das Gesamtvorhaben kurz vorgestellt werden.

## 2. Schiffmodell

Es handelt sich um ein 1973 eigens für den SFB 98 in der Hamburgischen Schiffbauversuchsanstalt (HSVA) aus einem formbeständigen Kunststoff hergestelltes Modell des Tankers "Tokyo Maru" im Maßstab 1 : 35 mit folgenden Hauptabmessungen:

|        |          |   |                      |
|--------|----------|---|----------------------|
| Rumpf: | $L$      | = | 8.286 m              |
|        | $B$      | = | 1.357 m              |
|        | $T$      | = | 0.459 m              |
|        | $\nabla$ | = | 4.154 m <sup>3</sup> |
|        | $x_G$    | = | 0.207 m              |

Ruder:  $A_R = 0.060 \text{ m}^2$

Propeller:  $D = 0.226 \text{ m}$

$P = 0.168 \text{ m}$  (rechtsdrehend)

$A_E/A_O = 0.6$

$Z = 5$

Der Spantenriß und die Stevenkonturen sind in Bild 2 dargestellt. Das Modell trägt die HSVA-Nr. 2507-1003; der verwendete HSVA-Stockpropeller hat die Nr. 1591. Das Modell ist bereits für umfangreiche Manövrieruntersuchungen im Rahmen des Teilprojekts A2 des SFB 98 benutzt worden.

### 3. Versuchstechnik

Die Versuche wurden im großen Schlepptank der HSVA mittels der diesem Fachausschuß bekannten CPMC-Anlage in Betriebsart A ausgeführt. Das zwangsgeführte Modell konnte während der Fahrt frei trimmen und tauchen; in den restlichen vier Freiheitsgraden war es an den Wagen gefesselt. Das Ruder war in der Mittellage festgesetzt. Der Propeller lief mit  $n = 9 \text{ Hz}$  entsprechend dem Selbstpropulsionspunkt der Großausführung bei  $13.5 \text{ kn}$  Vorwärtsgeschwindigkeit. Das entspricht einer Modellgeschwindigkeit von  $1.174 \text{ m/s}$  bzw. der Froudezahl  $0.126$ . Bei Rückwärtsfahrten wurde der Propellerdrehsinn umgekehrt.

Die vier Quadranten des Driftwinkels  $\beta$  (bzw. des "Gierwinkels" $\gamma$ ) wurden in Stufen von etwa  $10^\circ$  abefahren. Obwohl die hydrodynamischen Kräfte bei geometrisch ähnlicher Anströmung in erster Näherung als proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit angenommen werden können, wurde aus Gründen der Systematik in jeder



Meßreihe eine passende Bezugsgeschwindigkeit als Versuchsparameter konstant gehalten, und zwar die Bahngeschwindigkeit des Schiffsmittelpunkts:

$$(3) \quad U = \sqrt{u^2 + v^2}$$

bei den Schrägschleppversuchen und die Bahngeschwindigkeit des Schiffsendpunkts:

$$(4) \quad \tilde{U} = \sqrt{u^2 + r^2 L^2 / 4}$$

bei den Drehversuchen. Dieser konstante Wert betrug jeweils 1.174 m/s.

Während der Schleppfahrt wurden die vier relevanten Kraftwirkungen - nämlich die Längskraft  $X$ , die Seitenkraft  $Y$ , das Giermoment  $N$  und das Propellerdrehmoment  $Q$  - mittels geeigneter Dynamometer abgefühlt und mit einer Abfragefrequenz von 25 Hz im Rechner abgespeichert. Anschließend wurden Mittelwerte über die Meßzeit gebildet und gegebenenfalls (bei  $Y$  und  $N$ ) die errechneten Inertialanteile abgezogen, um die reinen hydrodynamischen Kraftwirkungen zu erhalten. Der Eindeutigkeit halber sei noch erwähnt, daß der im Hauptspant liegende Koordinatenursprung  $O$  (nicht identisch mit dem Verdrängungsschwerpunkt  $G$ ) als Bezugspunkt für das Giermoment  $N$  und die driftfreie Giergeschwindigkeit  $r$  gewählt wurde.

Die Durchführung von Schrägschleppversuchen mit beliebigen Driftwinkeln stellt natürlich keine besonderen Anforderungen an den Schleppwagenantrieb. Dagegen ist die Durchführung von driftfreien Gierbewegungen in einem rechteckigen Schlepptank durchaus schwierig. Dazu müssen die drei Antriebe der CPMC-Anlage in exakter Koordination vorausberechnete Bewegungsabläufe realisieren. Ferner kann

man in einem länglichen Schlepptank (280 m × 18 m) keine vollen Drehkreise fahren. Deshalb mußte das Modell auf Schlängellinien geschleppt werden, wobei die Drehgeschwindigkeit mit einer Periode von 30.4 s zwischen positiven und negativen Werten oszillierte. Während der jeweiligen Beharrungsphase von etwa 7 s Dauer wurden die Bewegungsvariablen  $r$  und  $u$  auf vorgegebene Werte konstant gehalten.

#### 4. Ergebnisse

Die gemessenen hydrodynamischen Seitenkräfte  $Y$  und Giermomente  $N$  bei reiner Schiebe- bzw. Gierbewegung sind in den Bildern 3 bis 6 als geeignete dimensionslose Beiwerte in Abhängigkeit vom Driftwinkel  $\beta$  und "Gierwinkel"  $\gamma$  dargestellt. Da das Schiffsmodell - mit Ausnahme des rechtsdrehenden Propellers - eine Symmetrie um die Mittellängsebene aufweist, müßten sowohl  $Y$  als auch  $N$  ungerade Funktionen von  $\beta$  und  $\gamma$  sein. Deshalb sind die Meßergebnisse in nur zwei Quadranten dargestellt, wobei die Kreuze (+) für positive  $\beta$ -bzw.  $\gamma$ -Werte und die Kreise (o) für negative  $\beta$ -bzw.  $\gamma$ -Werte gelten. Das doppelte Vorzeichen  $\pm$  an den Abszissen und Ordinaten in den Bildern 3 bis 6 ist so zu verstehen, daß für positive  $\beta, \gamma$  die Größen  $Y, N$  und für negative  $\beta, \gamma$  die Größen  $-Y, -N$  aufgetragen sind. Die erwartete Antisymmetrie in den Kraftwirkungen wird durch die Versuche so gut bestätigt, daß in jedem Bild durch beide Meßreihen jeweils nur eine mittlere Kurve durchgestrakt wurde.

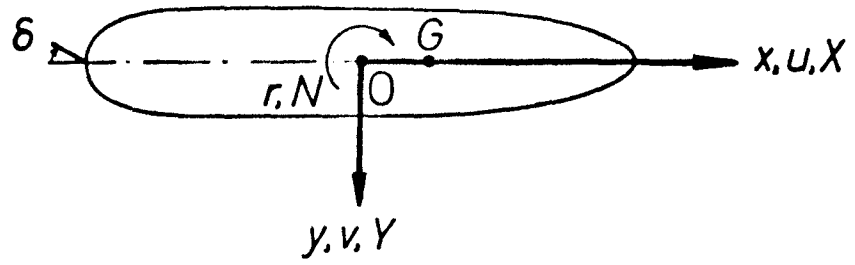
Es zeigt sich, daß unsere Beiwerte der Seitenkraft und des Giermoments als einfache trigonometrische Polynome der Winkelvariablen  $\beta$  und  $\gamma$  in allen vier Quadranten angenähert werden können. Da der

Einfluß der Geschwindigkeit und der Schiffsabmessungen bereits prinzipiell richtig berücksichtigt ist, dürften die Beiwerte auch auf andere vergleichbare Schiffsformen ohne allzugroßen Fehler übertragbar sein. Allerdings muß davor gewarnt werden, im Fall von Mischbewegungen die Beiwerte aus den  $\beta$ - und  $\gamma$ -Diagrammen einfach zu addieren. Die vorgelegten Diagramme erfassen gesondert die kombinierte Wirkung von entweder  $u$  und  $v$  bei  $r = 0$  (Bild 3,4) oder von  $u$  und  $r$  bei  $v = 0$  (Bild 5,6). Eine Darstellung der stark nichtlinear gekoppelten Kraftwirkungen bei gleichzeitigem Schieben und Gieren ( $v \neq 0, r \neq 0$ ) bleibt einem späteren Bericht vorbehalten.

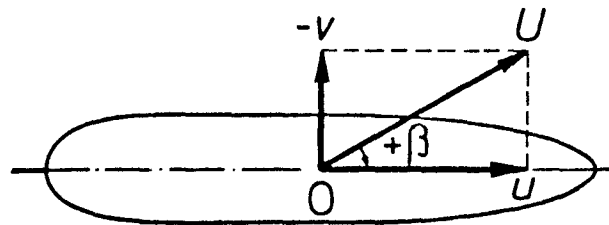
### 5. Symbolerklärung

|        |   |
|--------|---|
| $A_E$  | Gestreckte Propellerflügelfläche              |
| $A_O$  | Propellerkreisfläche                          |
| $A_R$  | Ruderlateralfläche                            |
| $B$    | Breite auf Spanten                            |
| $D$    | Propellerdurchmesser                          |
| $G$    | Gewichtschwerpunkt                            |
| $L$    | Länge zwischen den Loten                      |
| $N$    | Hydrodynamisches Giermoment um die $z$ -Achse |
| $n$    | Propellerdrehzahl, positiv wenn rechtsdrehend |
| $O$    | Koordinatenursprung                           |
| $Oxyz$ | Rechtshändiges Koordinatensystem (Bild 1a)    |
| $P$    | Propellersteigung                             |
| $Q$    | Propellerdrehmoment                           |
| $R$    | Drehkreisradius = $u/r$                       |

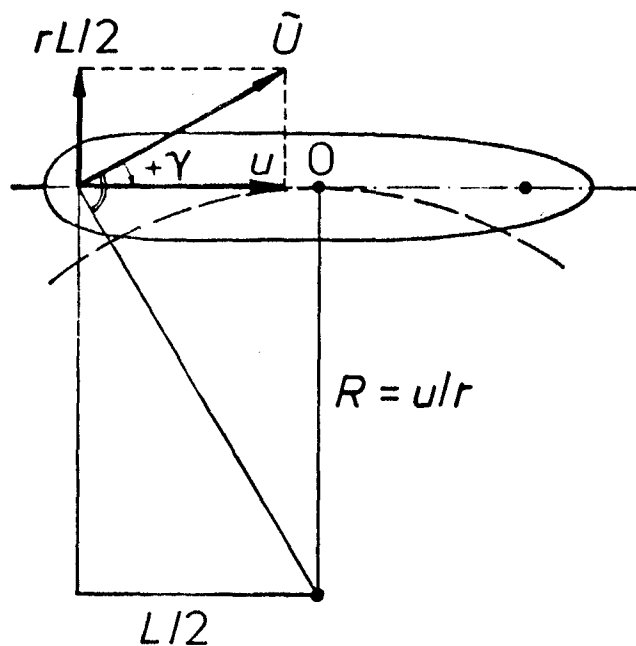
|             |   |
|-------------|---|
| $r$         | Drehgeschwindigkeit um die $z$ -Achse                 |
| $r'$        | Dimensionslose Drehgeschwindigkeit = $r L/u$          |
| $T$         | Tiefgang  |
| $U$         | Bahngeschwindigkeit von $O = \sqrt{u^2 + v^2}$        |
| $\tilde{U}$ | Eine Bezugsgeschwindigkeit = $\sqrt{u^2 + r^2 L^2/4}$ |
| $u$         | Längsgeschwindigkeit, positiv nach vorn               |
| $v$         | Seitengeschwindigkeit, positiv nach Steuerbord        |
| $X$         | Hydrodynamische Längskraft, positiv nach vorn         |
| $x_G$       | Längskoordinate von G                                 |
| $x, y, z$   | Schiffs(modell)feste Koordinaten (Bild 1a)            |
| $Y$         | Hydrodynamische Seitenkraft, positiv nach Steuerbord  |
| $Z$         | Propellerflügelzahl                                   |
| $\beta$     | Driftwinkel (hier identisch mit Schiebewinkel)        |
| $\gamma$    | "Gierwinkel", vgl. Gln. (2) und Bild 1c               |
| $\delta$    | Ruderwinkel   |
| $\rho$      | Wasserdichte  |
| $\nabla$    | Verdrängungsvolumen                                   |



(a) Koordinaten, Geschwindigkeiten und Kräfte



(b) Schiebewinkel (= Driftwinkel)  $\beta$



(c) "Gierwinkel"  $\gamma$

Bild 1 Definitionsskizzen

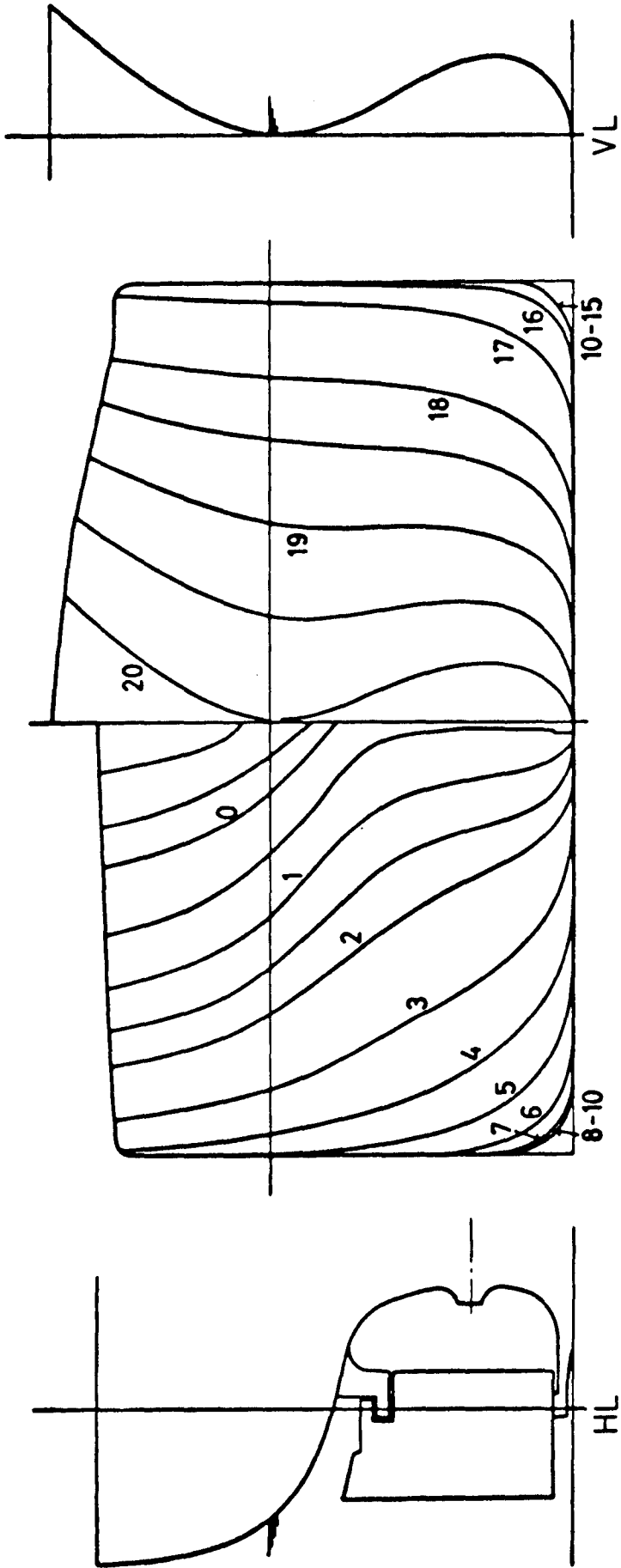


Bild 2 Spantenriß und Stevenkontur der untersuchten Tankerform (HSVA-Modell Nr. 2507)

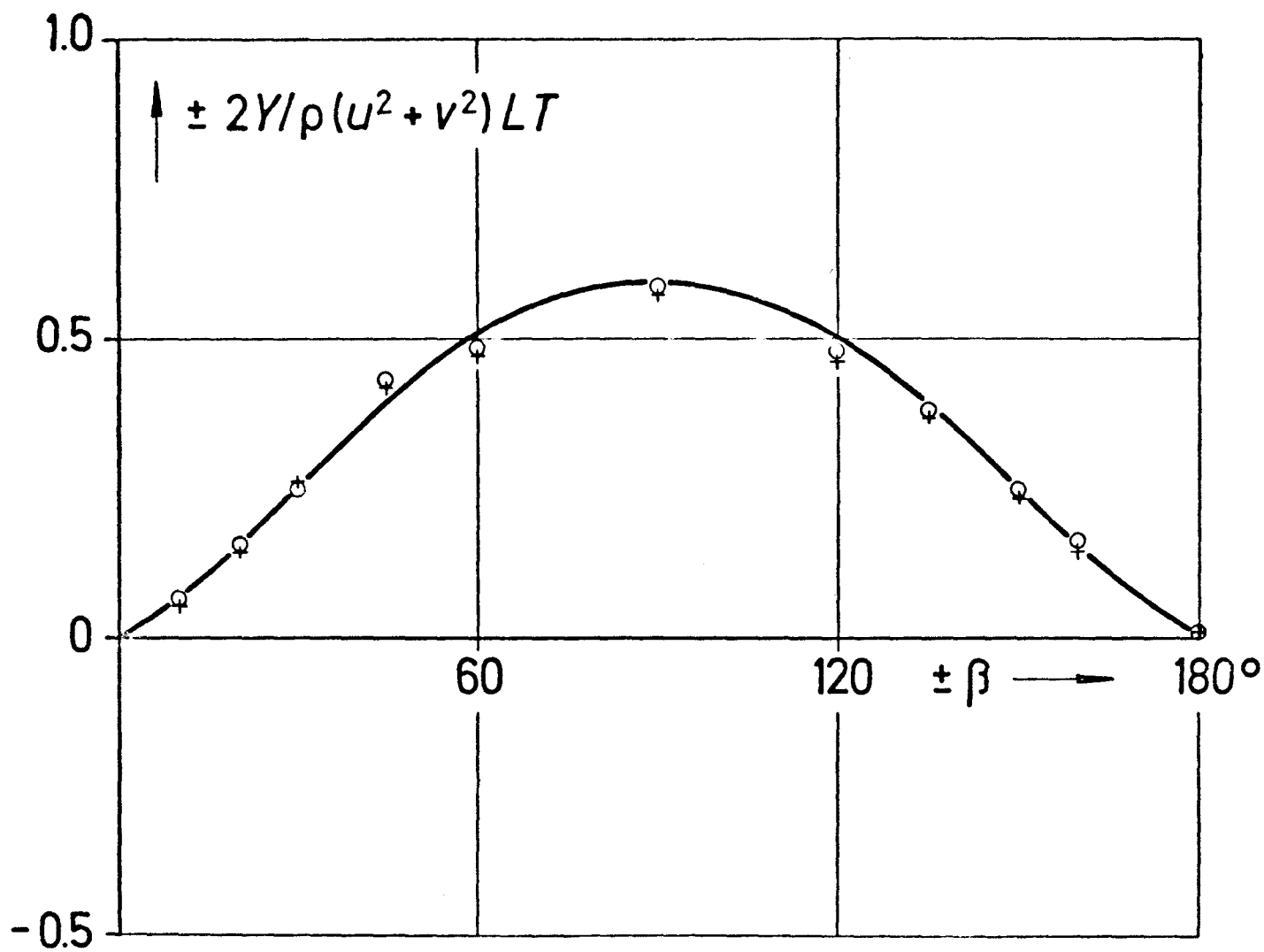


Bild 3 Seitenkraftbeiwert als Funktion des Driftwinkels beim drehungsfreien Schieben

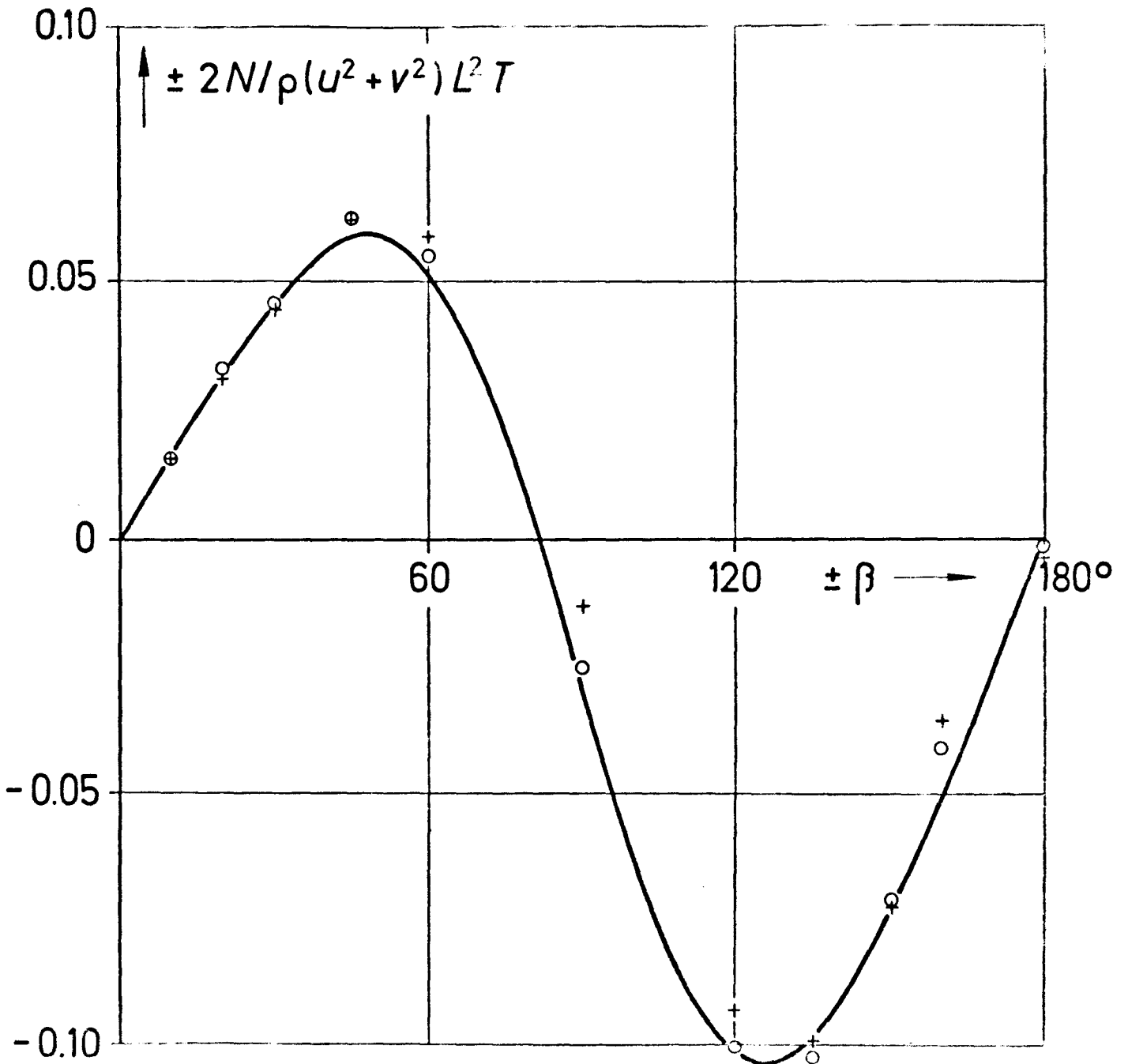


Bild 4 Giermomentenbeiwert als Funktion des Driftwinkels beim drehungsfreien Schieben



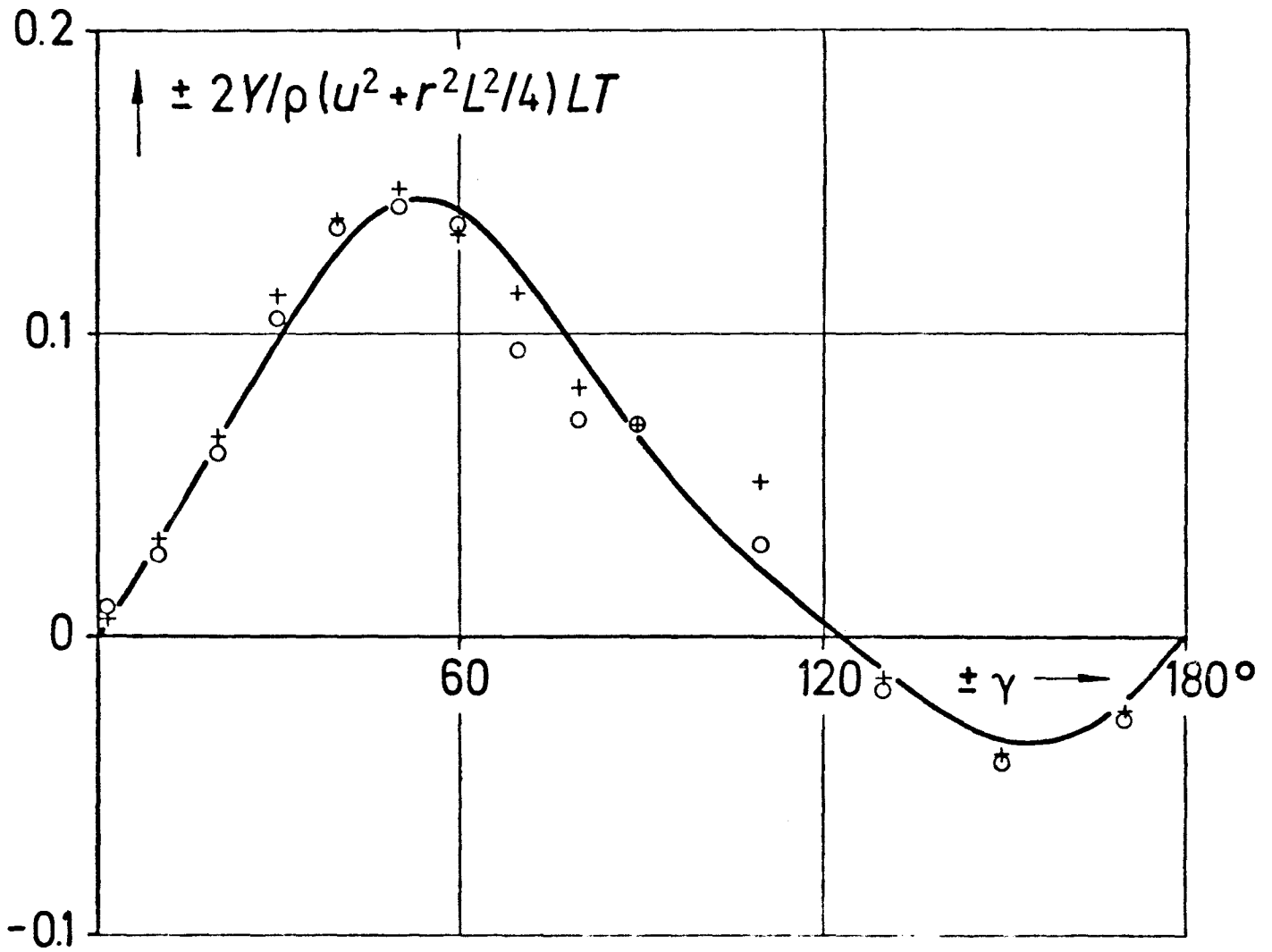


Bild 5 Seitenkraftbeiwert als Funktion des "Gierwinkels" beim driftfreien Gieren

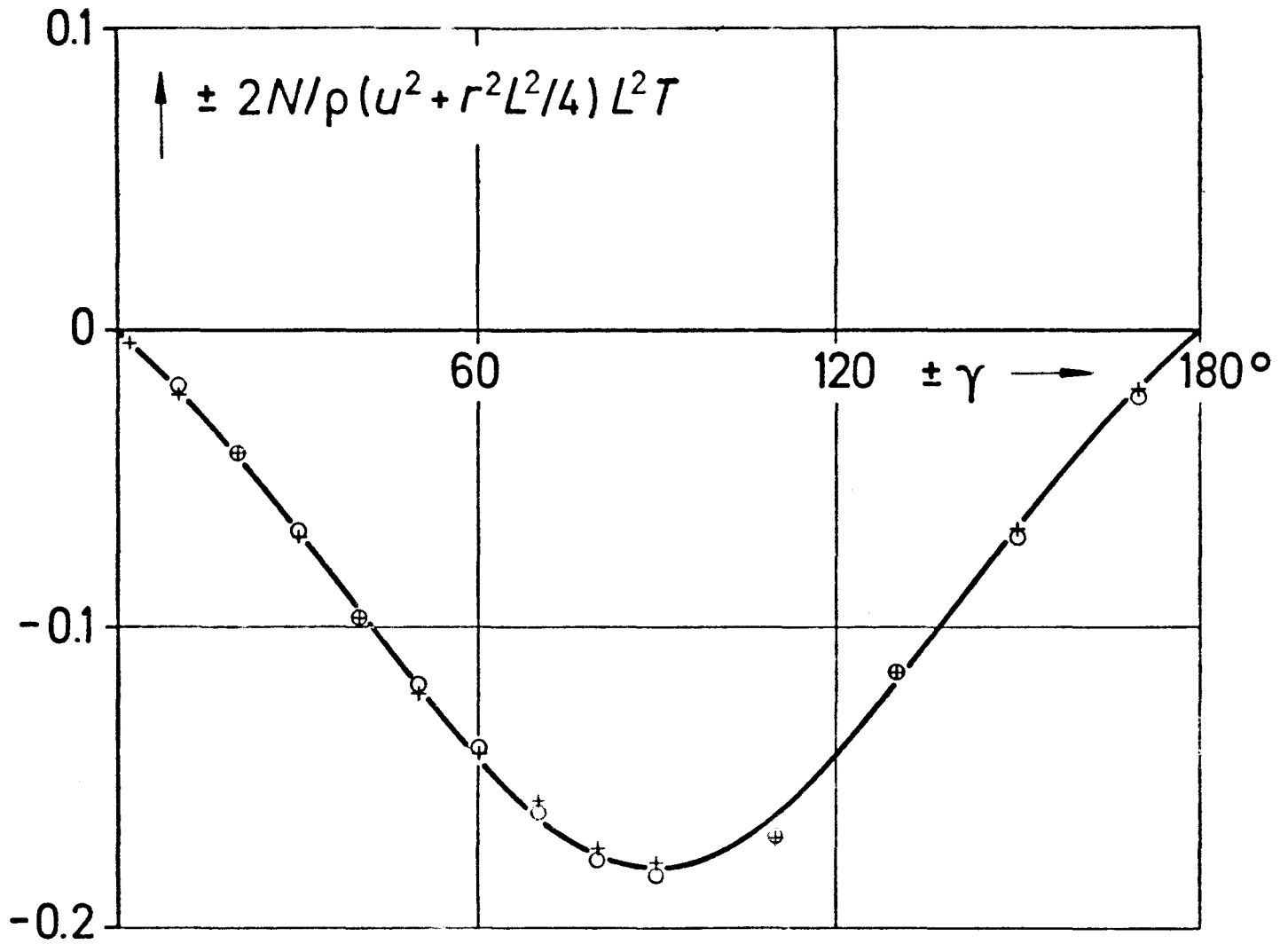


Bild 6 Giermomentenbeiwert als Funktion des "Gierwinkels" beim driftfreien Gieren