

423 | August 1982

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

S.D. Sharma

### Schrägschlepp- und Drehversuche in vier Quadranten- Teil 2

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

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

S.D.Sharma , Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1982

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

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

**Schrägschlepp- und Drehversuche in vier  
Quadranten – Teil 2**

**S.D. Sharma**

**August 1982**

**Bericht Nr. 423**

Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

Schrägschlepp- und Drehversuche in vier Quadranten - Teil 2

von

S.D. Sharma

Kurzfassung eines am 23. April 1982 vor dem  
STG-Fachausschuß Manövrieren (ehemals AGSVUM)  
in Hamburg gehaltenen Vortrags

(Fortsetzung des IfS-Berichts Nr. 413 vom August 1981)

August 1982

Bericht Nr. 423

## Inhalt

	Seite
6. Gleichzeitiges Driften und Gieren	1
7. Potentialtheoretische Wirkungen	2
8. Tragflügelwirkungen	3
9. Querströmungswiderstand	4
10. Zusammenfassung	5
11. Literaturhinweise	6
12. Symbolerklärung (Ergänzung)	7

## Bilder

- Bild 7 - Der aus gemessenen Seitenkraft- und Giermomentbeiwerten zurückgerechnete (fiktive) Verlauf des Querströmungswiderstandsbeiwerts über die Schiffslänge.
- Bild 8 - Der nach Gln. (12) und (14-16) errechnete anteilige und gesamte Seitenkraftbeiwert ("Spantanteil") als Funktion des als Winkel ausgedrückten Verhältnisses Gieren/Driften.
- Bild 9 - Der nach Gln. (13) und (14-16) errechnete anteilige und gesamte Giermomentbeiwert ("Spantanteil") als Funktion des als Winkel ausgedrückten Verhältnisses Gieren/Driften.
- Bild 10 - Seitenkraftbeiwert als Funktion des Driftwinkels beim drehungsfreien Schieben (vgl. Bild 3).
- Bild 11 - Giermomentbeiwert als Funktion des Driftwinkels beim drehungsfreien Schieben (vgl. Bild 4).
- Bild 12 - Seitenkraftbeiwert als Funktion des Gierwinkels beim driftfreien Gieren (vgl. Bild 5).
- Bild 13 - Giermomentbeiwert als Funktion des Gierwinkels beim driftfreien Gieren (vgl. Bild 6).

Schrägschlepp- und Drehversuche in vier Quadranten - Teil 2

(Fortsetzung des Beitrags vom 8. Mai 1981 abgedruckt im Schiff und Hafen, 1981, Heft 10, S. 123-125)

Dr.-Ing. S. D. Sharma

Institut für Schiffbau, Hamburg

6. Gleichzeitiges Driften und Gieren

Im 1. Teil dieses Beitrags wurde am Beispiel eines Tankermodells gezeigt, daß die infolge des reinen Driftens oder Gierens hervorgerufenen Seitenkräfte und Giermomente in jeweils vier Quadranten als einfache trigonometrische Polynome der Variablen  $\beta$  (Driftwinkel) bzw.  $\gamma$  (Gierwinkel) angenähert werden konnten. Wie schon angedeutet, erfordert eine adäquate Behandlung des praktisch wichtigen Falls von gleichzeitigem Driften und Gieren wesentlich mehr Aufwand. Um die stark nichtlineare Wechselwirkung zwischen der Seitengeschwindigkeit  $v$  und der Drehgeschwindigkeit  $r$  für alle Kombinationen von  $v$  und  $r$  konsequent darstellen zu können, mußten die am Gesamtsystem Schiff gemessenen Kräfte zunächst wie folgt korrigiert werden. Erstens wurden die am Ruder unter Berücksichtigung des Schiffsnachstroms und des Propellerstrahls wirksamen Kräfte in Anlehnung an den Vorschlag von Thulin (1974) abgeschätzt und abgezogen. Zweitens wurde der - freilich geringe - Einfluß der Einschrauberunsymmetrie durch Vergleich der Kräfte bei gleichgroßen  $\beta$ - bzw.  $\gamma$ -Werten nach Backbord und Steuerbord herausgemittelt. Die so bereinigten Kräfte am Teilsystem Rumpf und Propeller konnten dann als die Summe von drei strömungstheoretisch wesentlich verschiedenen Wirkungen aufgefaßt und durch passende Ansätze mit guter Genauigkeit angenähert werden, wie nachfolgend im einzelnen geschildert wird.

## 7. Potentialtheoretische Wirkungen

Die erste der oben genannten drei Kraftwirkungen ergibt sich aus der hydrodynamischen Potentialtheorie. Nach einem klassischen Ergebnis dieser Theorie können die an einem beliebig geformten starren Körper durch eine beliebige Bewegung in einer allseitig unbegrenzten idealen (= reibungs- und wirbelfreien) Flüssigkeit hervorgerufenen Kräfte und Momente auf eine nur von der Körperform abhängende Matrix der hydrodynamischen Massen und Trägheiten zurückgeführt werden, vgl. z.B. Imlay (1961). Unter Ausnutzung der unserem Problem innewohnenden Symmetrien erhält man danach die Teilwirkungen:

$$(5) \quad Y_I = Y_{\dot{\vartheta}} + X_{\dot{u}}ru + Y_{\dot{r}}\dot{r}$$

$$(6) \quad N_I = N_{\dot{r}}\dot{r} + (Y_{\dot{\vartheta}} - X_{\dot{u}})uv + (\dot{\vartheta} + ur)N_{\dot{\vartheta}}$$

wobei der Index I für "ideale" Flüssigkeit steht und die Beiwerte  $Y_{\dot{\vartheta}}$  usw. die besagten hydrodynamischen Massen und Trägheiten bezeichnen. Man beachte, daß die Potentialtheorie nicht nur beschleunigungsproportionale Terme wie  $Y_{\dot{\vartheta}}\dot{\vartheta}$  liefert, sondern auch eine Art Fliehkraft  $X_{\dot{u}}ru$  und vor allem das beim Manövrieren hoch bedeutsame, nur geschwindigkeitsbedingte Moment  $(Y_{\dot{\vartheta}} - X_{\dot{u}})uv$ . Für unsere Tankerform ergaben die Versuche nach Wolff (1981) folgende Zahlenwerte für die hydrodynamischen Beiwerte:

$$(7) \quad -X_{\dot{u}}/m = 0.074 \quad -Y_{\dot{\vartheta}}/m = 0.781 \quad -N_{\dot{r}}/m = (0.198L)^2$$

$$(8) \quad -Y_{\dot{r}}/mL = 0.049 \quad -N_{\dot{\vartheta}}/mL = 0.036$$

Die letzten beiden Beiwerte sind ein Maß für die relativ kleine Unsymmetrie zwischen dem Vor- und Hinterschiff. Nach der strengen Potentialtheorie hätten die Zahlenwerte gleich groß sein müssen. Die experimentellen Werte könnten davon abweichende reale Effekte darstellen.

## 8. Tragflügelwirkungen

Wenn auch der Schiffsrumpf nicht als Tragflügel konstruiert ist, so erzeugt er doch beim Driften und Gieren einen erheblichen tragflügelartigen Quertrieb, der natürlich auch ein Drehmoment sowie einen induzierten Widerstand zur Folge hat. Diese Wirkung kann aufgrund folgender strömungstheoretischer Annahmen erfaßt werden. Erstens: Der durch Driften - bzw. Gieren - hervorgerufene Quertrieb ist proportional der Unterwasserlateralfäche, dem Staudruck der effektiven Anströmung und dem Sinus des zweifachen Driftwinkels  $\beta$  - bzw. des effektiven Gierwinkels  $\arctan(kr\lambda sgnu/u)$ ; er wirkt senkrecht zur effektiven Anströmung. Zweitens: Der Quertrieb ist mit einem dem Quadrat des Quertriebs proportionalen und in Richtung der effektiven Anströmung wirkenden induzierten Widerstand verbunden. Drittens: Die Giermomente ergeben sich aus den Seitenkräften durch Multiplikation mit effektiven Hebelarmen. Nach vektorieller Synthese und Transformation von Strömungs- auf Körperkoordinaten erhält man aus obigen Annahmen die Ansätze:

$$(9) \quad Y_L = \frac{\rho}{2} L T \frac{u^2 (c' kr\lambda sgnu - cv)}{\sqrt{u^2 + (kr\lambda sgnu - v)^2}} \left\{ 1 + \frac{(d' kr\lambda sgnu - dv) (kr\lambda sgnu - v)}{u^2 + (kr\lambda sgnu - v)^2} \right\}$$

$$(10) \quad N_L = - \frac{\rho}{2} L^2 T \frac{u |u| (e' kr\lambda sgnu - ev)}{\sqrt{u^2 + (kr\lambda sgnu - v)^2}} \left\{ 1 + \frac{(d' kr\lambda sgnu - dv) (kr\lambda sgnu - v)}{u^2 + (kr\lambda sgnu - v)^2} \right\}$$

wobei der Index L für "lift" steht und  $c, c', d, d', e, e', k$  dimensionslose, formabhängige, positive Beiwerte sind. Für die Tankerform ergaben unsere Versuche folgende Zahlenwerte:

$$(11) \quad c = 0.24 \quad c' = 0.5 \quad d = d' = 1 \quad e = 0.064 \quad e' = 0.1 \\ k = 0.4$$

Nebenbei sei bemerkt, daß diese Tragflügelwirkung ungefähr dem entspricht, was in der Literatur früher manchmal als der "Wasserlinienanteil" der Seitenkräfte bezeichnet wurde.

### 9. Querströmungswiderstand

Bei der letzten zu betrachtenden Kraftwirkung handelt es sich um den Druck- und Reibungswiderstand des Rumpfs gegen Queranströmung. Diese Kräfte sind sehr groß, weil der Rumpf zweckgemäß so konstruiert wird, daß der Längswiderstand möglichst klein bleibt. Für die Erfassung dieser Kräfte verwenden wir nach dem Vorbild von Norrbin (1978) eine Art Streifentheorie. Die elementare Seitenkraft am Element  $dx$  an der Stelle  $x$  wird proportional dem Staudruck der örtlichen Queranströmung  $(v+rx)$ , dem örtlichen Tiefgang  $T(x)$  und dem örtlichen Querwiderstandsbeiwert  $c_D(x)$  angesetzt. Somit erhält man:

$$(12) \quad Y_C = - \frac{\rho}{2} \int_{-l_h}^{l_v} T(x) c_D(x) (v+rx) |v+rx| dx$$

$$(13) \quad N_C = - \frac{\rho}{2} \int_{-l_h}^{l_v} x T(x) c_D(x) (v+rx) |v+rx| dx$$

Diese Integrale lassen sich mit geeigneten Ansätzen (z.B. Polynome) für  $T(x)$  und  $c_D(x)$  geschlossen lösen. Die Berücksichtigung unterschiedlicher Vor- und Hinterschiffslängen  $l_v, l_h$  sowie eines variablen Tiefgangs  $T(x)$  kann in besonderen Fällen sinnvoll sein, z.B. bei stark asymmetrischem Lateralplan bzw. bei Vertrimmung oder Krängung. Wir beschränken uns hier auf den Normalfall:

$$(14) \quad l_v = l_h = l, \quad T = \text{const}$$

und setzen für den Querwiderstandsbeiwert ein viergliedriges Polynom an:

$$(15) \quad c_D(x) = a_0 + a_7 x^7 / l^7 + a_8 x^8 / l^8 + a_9 x^9 / l^9$$

um insbesondere den Anstieg des Widerstandsbeiwerts vom Hauptspant zu den Enden hin und eine etwaige Unsymmetrie (z.B. durch

den Propeller) erfassen zu können. Die Anpassung vier gemessener Eckwerte (je ein Seitenkraft- und Giermomentbeiwert an den Stellen  $\beta = 90^\circ$  und  $\gamma = 90^\circ$ ) ergab für unsere Tankerform die folgenden Parameterwerte:

$$(16) \quad a_0 = 0.207 \quad a_7 = 5.310 \quad a_8 = 3.218 \quad a_9 = -6.732$$

Der hieraus zusammengesetzte fiktive Verlauf des Querströmungswiderstandsbeiwerts über die Schiffslänge ist im Bild 7 dargestellt. Die zugehörigen anteiligen und gesamten Beiwerte der Seitenkraft  $Y_C$  bzw. des Giermoments  $N_C$  sind im Bild 8 bzw. 9 für alle möglichen Kombinationen der Drehgeschwindigkeit  $r$  und der Seitengeschwindigkeit  $v$  dargestellt. In diesen Kurven kommt die eingangs erwähnte nichtlineare Abhängigkeit der Seitenkräfte von der Drift- und Gierbewegung konsequent zum Ausdruck. Beiläufig sei bemerkt, daß die hier mit dem Index C für "cross flow effect" gekennzeichneten Kraftwirkungen etwa dem entsprechen, was in der Literatur früher manchmal als der "Spantanteil" der Seitenkräfte bezeichnet wurde.

#### 10. Zusammenfassung

Um die relative Bedeutung der drei betrachteten Kraftwirkungen am Beispiel unserer Tankerform zu veranschaulichen, sind in den Bildern 11 bis 13 die nach obigen Ansätzen berechneten Seitenkraft- und Giermomentbeiwerte als Funktionen des Drift- und Gierwinkels aufgetragen worden. Dabei gibt jeweils die langgestrichelte Kurve den potentialtheoretischen Anteil (Index I), die kurzgestrichelte den Tragflügel- oder Wasserlinienanteil (Index L), die strichpunktierte den "cross flow" oder Spantanteil (Index C) und die durchgezogene Kurve die Summe wieder. Da die berechneten Seitenkräfte und Giermomente jeweils streng ungerade Funktionen vom Drift- und Gierwinkel sind, beschränkt sich die Darstellung auf

je zwei Quadranten. Man kann allgemein feststellen, daß in den Funktionen  $Y(\beta)$  und  $N(\gamma)$  der Spantanteil, in  $N(\beta)$  der potentialtheoretische Anteil und in  $Y(\gamma)$  der Wasserlinienanteil vorherrscht. Vergleicht man nun die in den Bildern 10 bis 13 nachgebildeten Funktionen mit den Originalmeßwerten aus den entsprechenden Bildern 3 bis 6 (im 1. Teil dieses Beitrags) unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die geschätzten Ruderkräfte abgezogen worden sind, so erscheint die Approximation im Bereich der Vorausfahrt ( $0^\circ \leq \beta < 90^\circ$ ,  $0^\circ \leq \gamma < 90^\circ$ ) quantitativ, im Bereich der Rückwärtsfahrt ( $90^\circ < \beta \leq 180^\circ$ ,  $90^\circ < \gamma \leq 180^\circ$ ) qualitativ ausreichend. Bei Bedarf kann die Approximationsgenauigkeit noch verbessert werden, in dem man beispielsweise die in Gl. (11) angeführten Parameter der Tragflügelwirkung von der Fahrtrichtung abhängen läßt. Beispiele für Manöversimulation in vier Quadranten unter Verwendung der hier vorgestellten Ansätze sollen demnächst an anderer Stelle veröffentlicht werden.

#### 11. Literaturhinweise

Imlay, F.H.: The complete expressions for "added mass" of a rigid body moving in an ideal fluid. Hydro. Lab. R & D Report 1528, David Taylor Model Basin, Carderock MD/USA, 1961.

Norrbin, N.: A method for the prediction of the maneuvering lane of a ship in a channel of varying width. Proc. Symp. "Aspects of Navigability of Constraint Waterways, Including Harbour Entrances", Delft/Holland, 1978, vol. 3, Paper 22.

Thulin, S.A.R.: Contribution to Discussion on the Paper of L.W. Smitt and M.S. Chislett. Proc. 10th ONR Symposium on Naval Hydrodynamics, Cambridge MA/USA, 1974, pp. 153-156.

Wolff, K.: Ermittlung der Manövriereigenschaften fünf repräsentativer Schiffstypen mit Hilfe von CPMC-Modellversuchen. Bericht Nr. 412, Institut für Schiffbau, Hamburg, 1981.

12. Symbolerklärung (Ergänzung)

$a_n$	Polynomparameter zur Bestimmung des örtlichen Querströmungswiderstandsbeiwerts
C	Index für "cross flow effects" (Spantanteil)
$c, c'$	Proportionalitätsfaktor für den durch Driften bzw. Gieren verursachten Quertrieb
$c_D$	Querströmungswiderstandsbeiwert
$d, d'$	Proportionalitätsfaktor für den durch Driften bzw. Gieren verursachten induzierten Widerstand
$e, e'$	Proportionalitätsfaktor für den effektiven Hebelarm der durch Driften bzw. Gieren tragflügelartig verursachten Seitenkraft (Wasserlinienanteil)
I	Index für ideale potentialtheoretische Kraftwirkungen
k	Gewichtsfaktor in der Bestimmung des hydrodynamisch effektiven Gierwinkels $\arctan(kr\dot{\lambda}sgnu/u)$ im Unterschied zum Definitionsgierwinkel $\gamma = \arctan(r\dot{\lambda}/u)$
L	Index für "lift", d.h. Tragflügelwirkung (Wasserlinienanteil)
$l$	Halbe Schiffslänge = $L/2$
m	Schiffsmasse
$-N_{\dot{r}}$	Hydrodynamisches Trägheitsmoment um die Hochachse
$-N_{\dot{y}}$	Hydrodynamisches Trägheitsmoment (Kopplungsterm)
$-X_{\dot{u}}$	Hydrodynamische Masse in Längsrichtung
$-Y_{\dot{r}}$	Hydrodynamische Masse (Kopplungsterm)
$-Y_{\dot{y}}$	Hydrodynamische Masse in Seitenrichtung

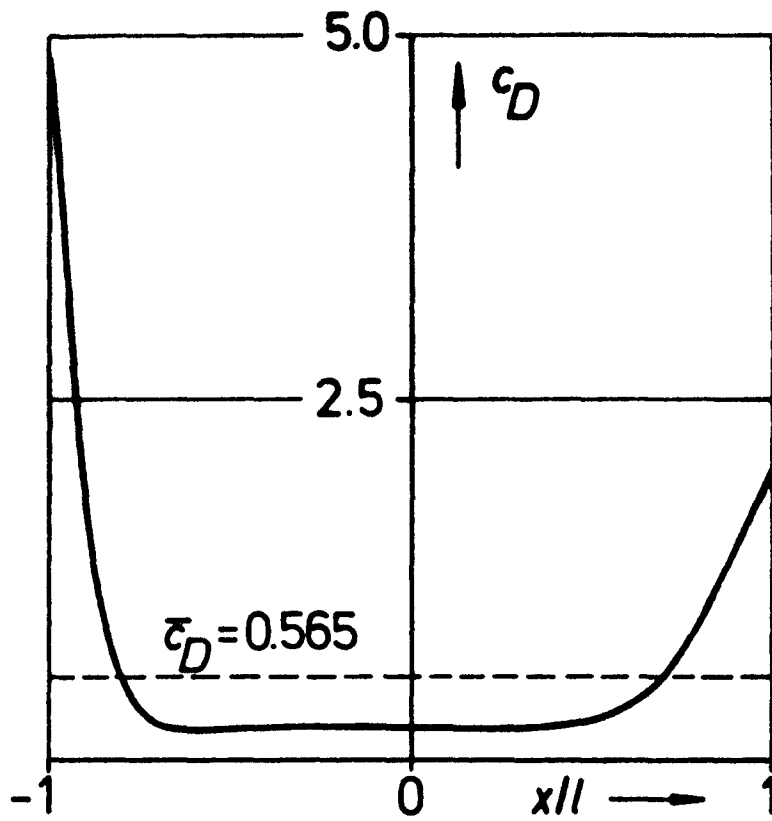


Bild 7 Der aus gemessenen Seitenkraft- und Giermomentbeiwerten zurückgerechnete (fiktive) Verlauf des Querströmungswiderstandsbeiwerts über die Schiffslänge

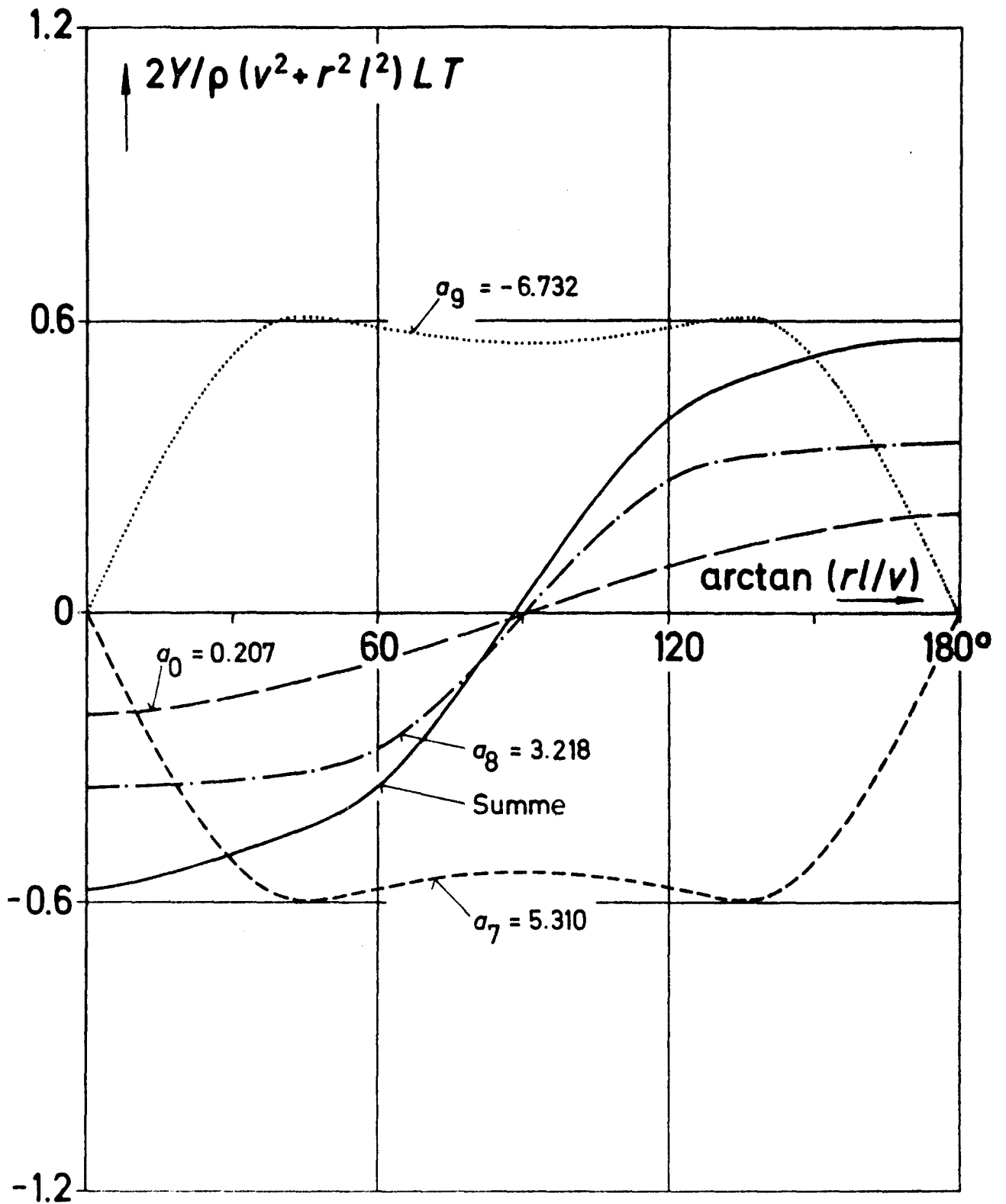


Bild 8 Der nach Gln. (12) und (14-16) errechnete anteilige und gesamte Seitenkraftbeiwert ("Spantanteil") als Funktion des als Winkel ausgedrückten Verhältnisses Gieren/Driften.

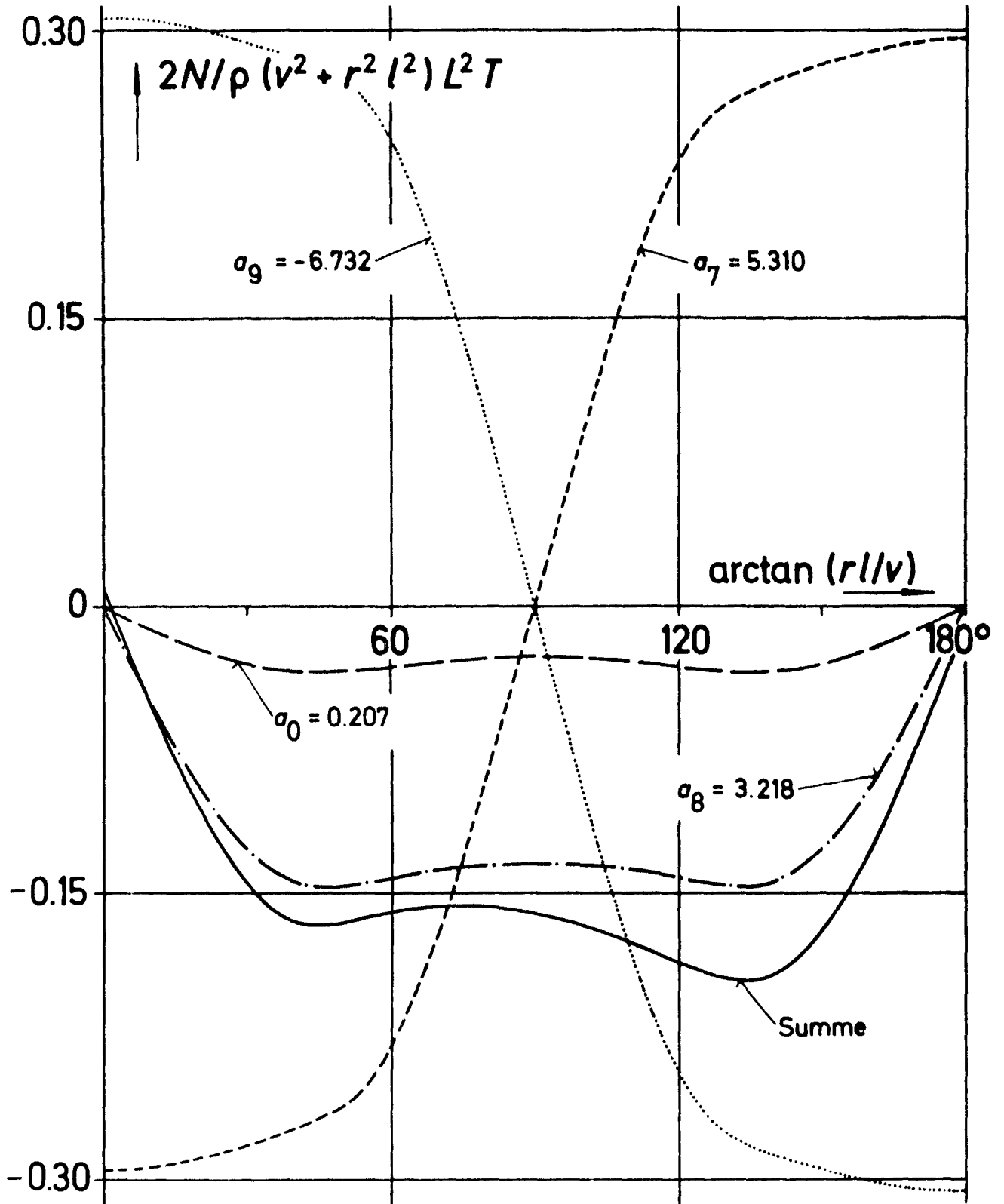


Bild 9 Der nach Gln. (13) und (14-16) errechnete anteilige und gesamte Giermomentbeiwert ("Spantanteil") als Funktion des als Winkel ausgedrückten Verhältnisses Gieren/Driften.

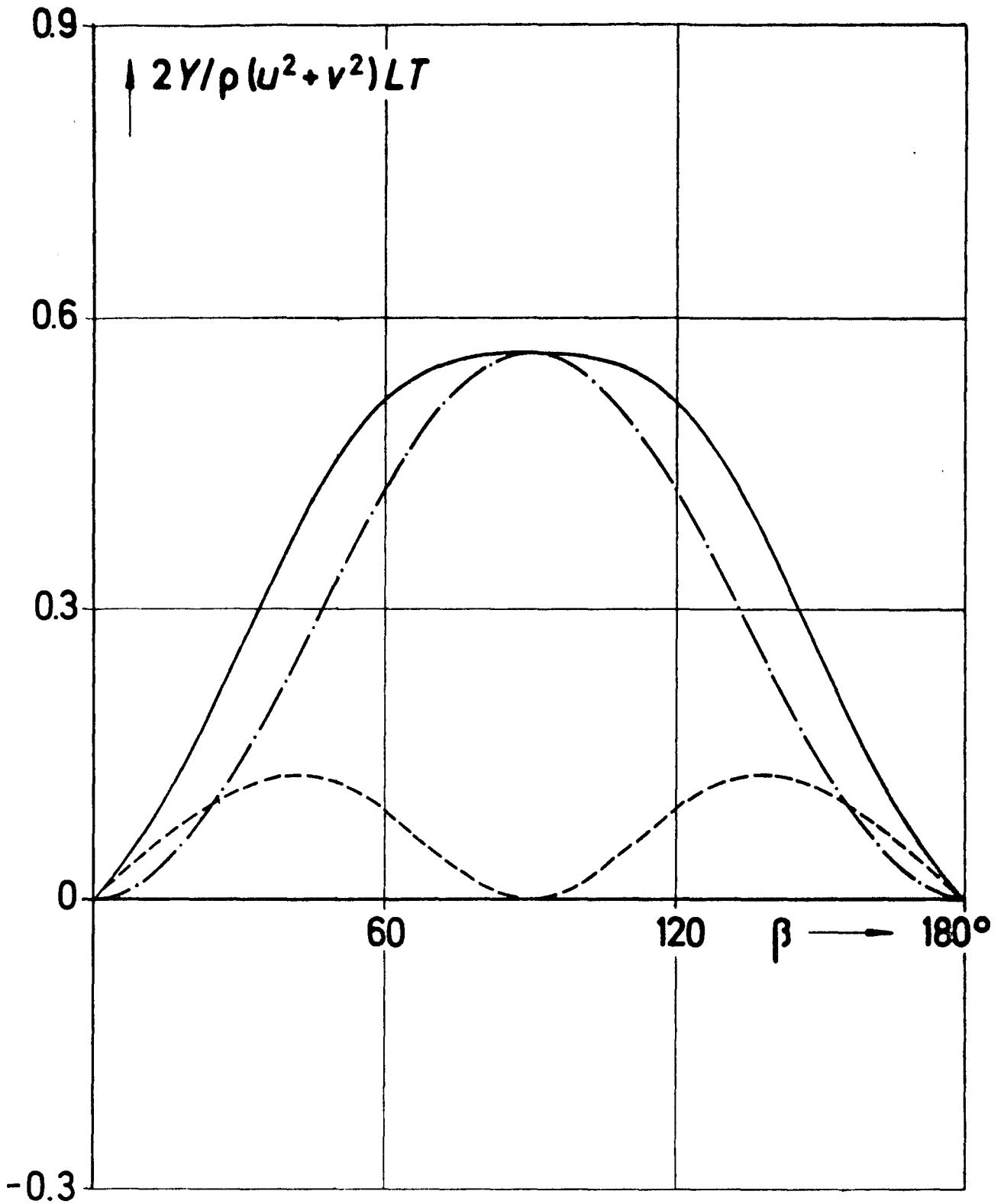


Bild 10 Seitenkraftbeiwert als Funktion des Driftwinkels beim drehungsfreien Schieben (vgl. Bild 3)

I-Anteil entfällt                      - - - - - L-Anteil  
- · - - - C-Anteil                      ——— Summe

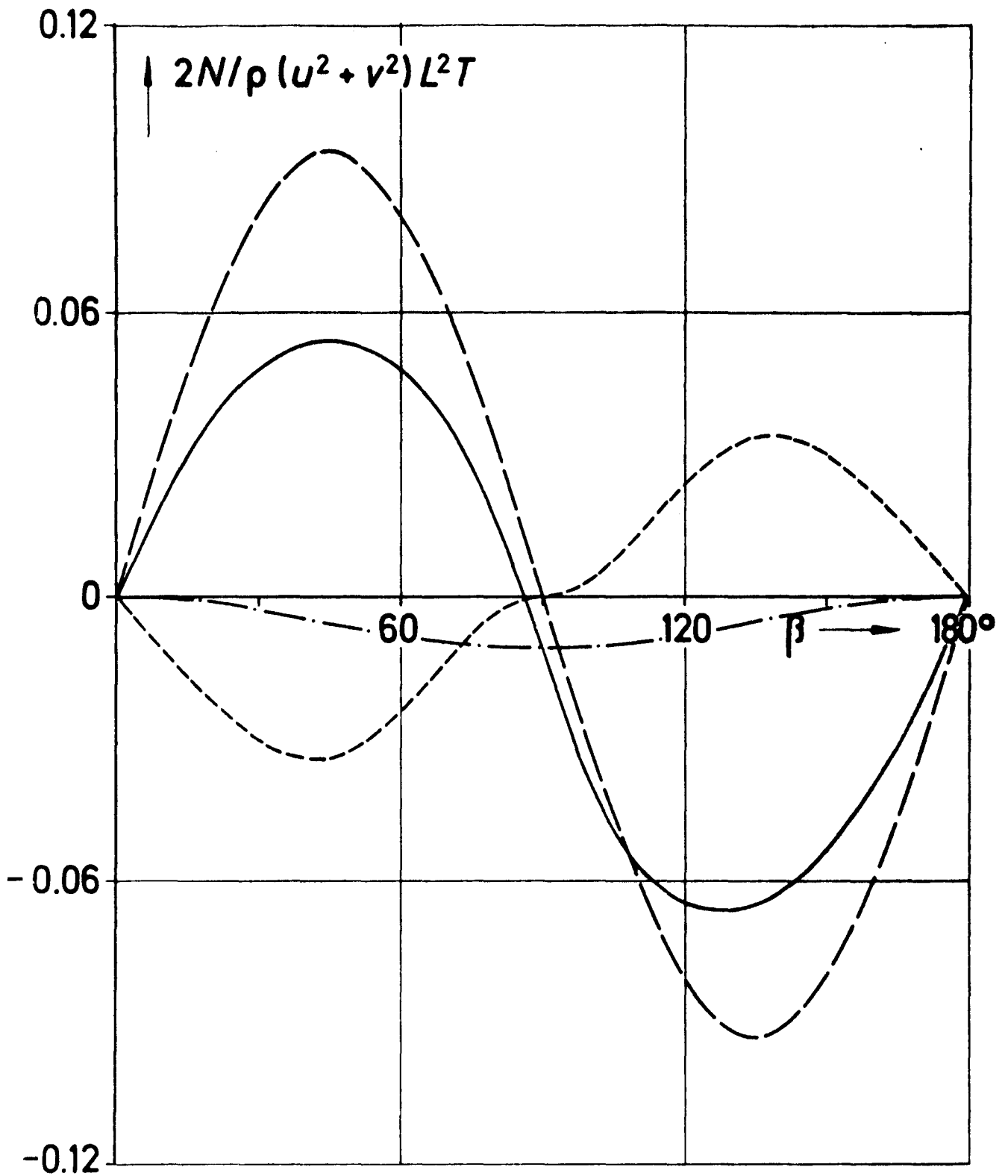


Bild 11 Giermomentbeiwert als Funktion des Driftwinkels beim drehungsfreien Schieben (vgl. Bild 4)

— — —	I-Anteil	- - - - -	L-Anteil
- · - · -	C-Anteil	— — —	Summe

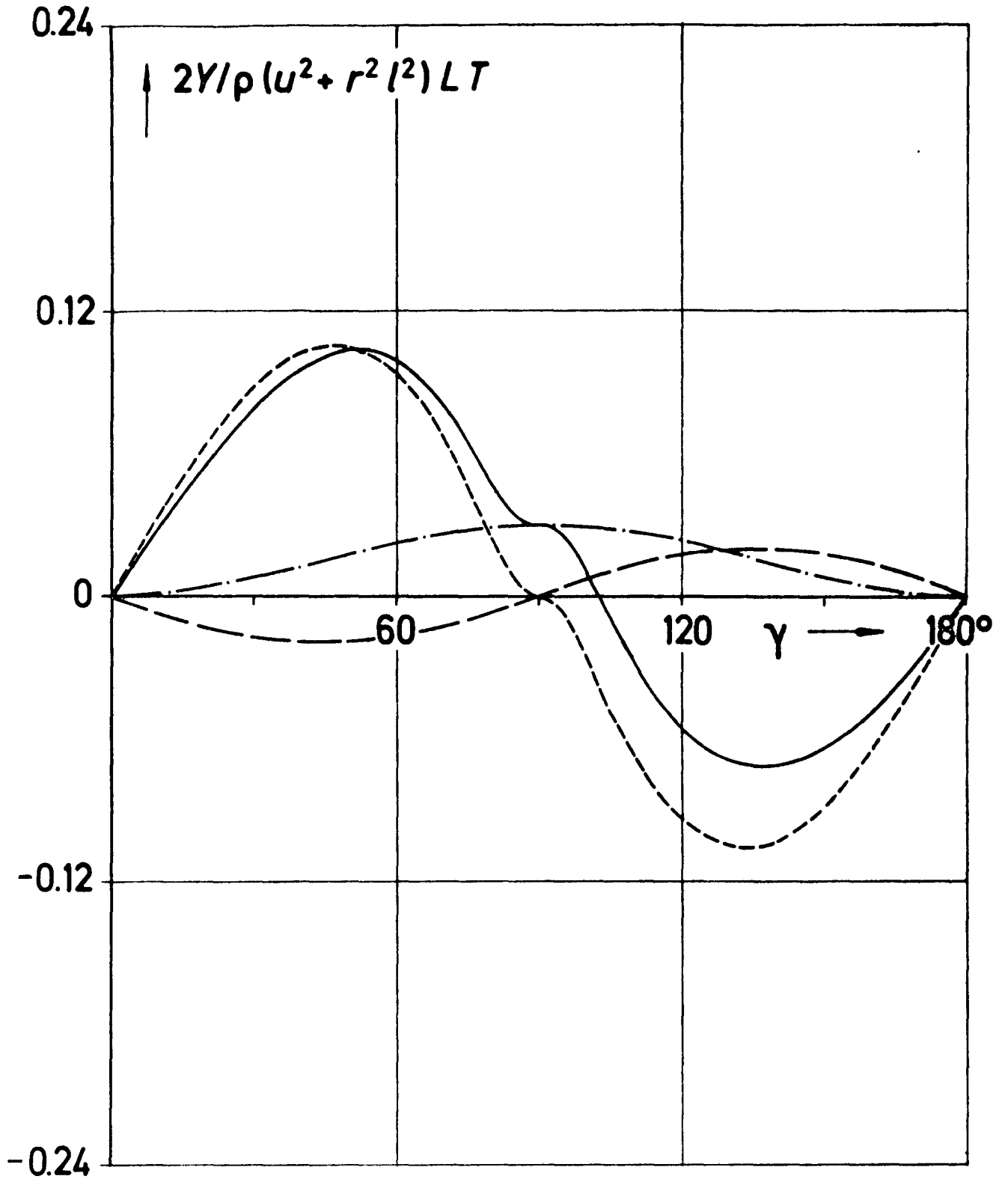


Bild 12 Seitenkraftbeiwert als Funktion des Gierwinkels beim driftfreien Gieren (vgl. Bild 5)

— — —	I-Anteil	- - - - -	L-Anteil
- · - · -	C-Anteil	— — —	Summe

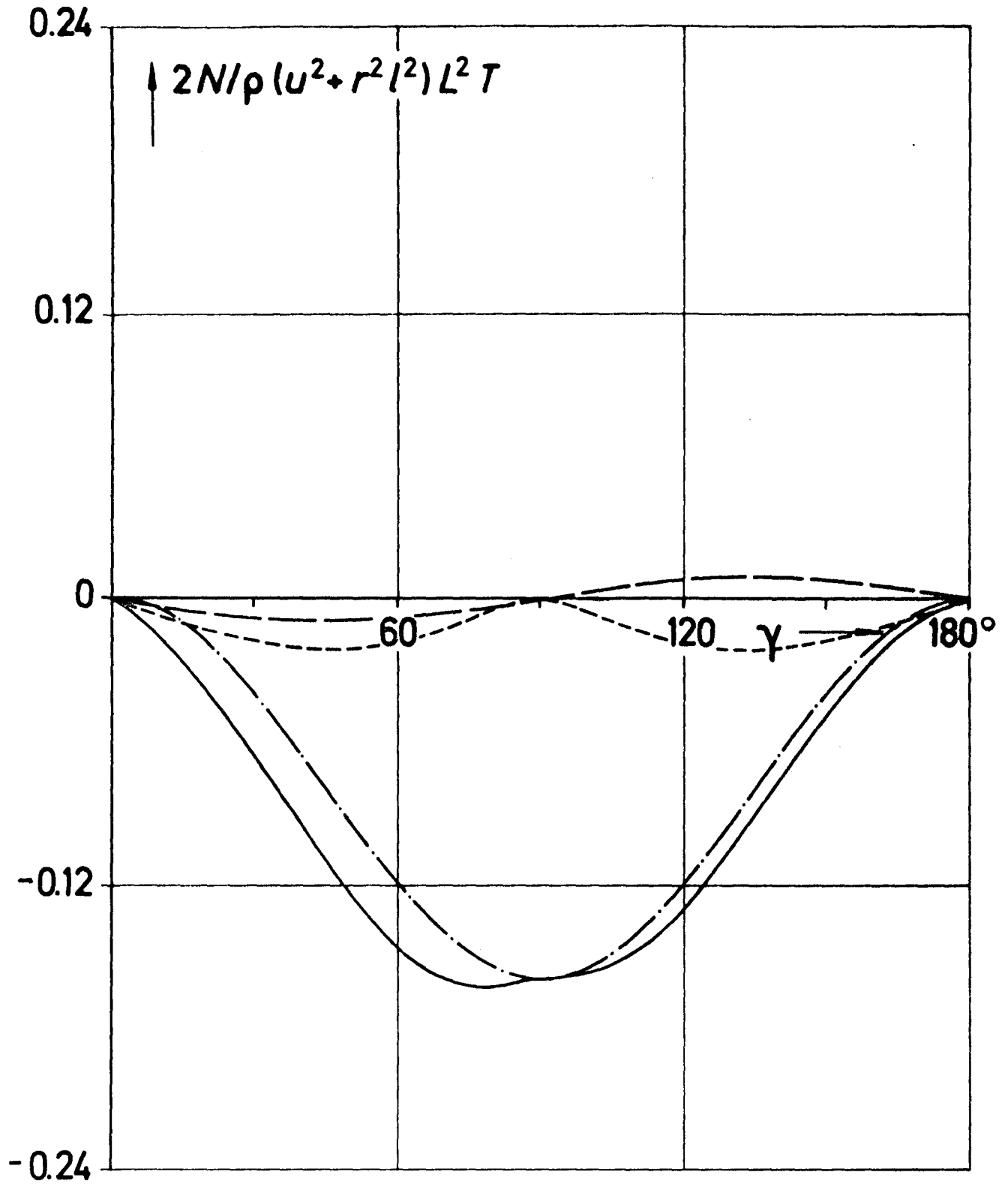


Bild 13 Giermomentbeiwert als Funktion des Gierwinkels beim driftfreien Gieren (vgl. Bild 6)

— — — — — I-Anteil      - - - - - L-Anteil  
- · - · - C-Anteil      ————— Summe