

187 | Dezember 1967

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

B. Wagner

**Windkanalversuche für ein 10 000  
tdw-Frachtschiff mit verschiedenen  
Aufbautenanordnungen und  
Beladungszuständen**

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 187

"Windkanalversuche für ein 10 000 tdw-Frachtschiff mit verschiedenen Aufbautenanordnungen und Beladungszuständen"

von

B. Wagner

Hamburg, Dezember 1967

## 1. Einführung

Eine wesentliche Aufgabe der Windkanalversuche mit Überwasserschiffmodellen im Rahmen des Vorhabens "Luftkräfte an Schiffen" war es, systematische Unterlagen über die Windkräfte und -momente an Schiffen mit verschiedenen Aufbauten und Aufbautenanordnungen zu schaffen.

Die umfangreichste Aufbautenvariation wurde am Modell eines 10 000 tdw-Frachtschiffes vom General-Cargo-Typ vorgenommen.

Durch schrittweises Verschieben des Mittschiffsaufbaus nach hinten und Teilung des Aufbaus (mit variiertem Lage der Navigationsbrücke) sollten möglichst viele der gegenwärtig ausgeführten Aufbautenanordnungen verwirklicht werden.

In [6] sind die Ergebnisse der Versuche bereits z.T. im Rahmen der Gesamtdarstellung der Ergebnisse mit behandelt worden. In diesem Bericht sollen die das Frachtschiff von 10 000 tdw betreffenden Teilergebnisse ausführlich dargestellt werden. Außerdem werden die Auswirkungen der verschiedenen Aufbautenanordnungen auf die Kraft- und Momentenbeizahlen besprochen.

## 2. Versuchseinrichtung

Die Versuchsanordnung im Windkanal zeigt Abb. 1. Der Rechteckstrahl von 1,75 m Breite und 1,05 m Höhe wird unten von der kastenförmig versteiften Bodenplatte begrenzt. Die Strahlgeschwindigkeit ist oberhalb der Bodenplatte bis auf die Anlaufgrenzschicht (26 mm dick auf Mitte Drehscheibe) homogen, da die Kanalgrenzschicht durch Anbringen der Bodenplatte ca. 50 mm über dem unteren Düsenrand abgeleitet wurde.

Die Drehscheibe für die Modelle (Durchmesser 1,70 m) ist mit 2 mm Spalt niveaugleich in die Bodenplatte eingelassen. Das Modell konnte in verschiedenen Beladungs- und Trimmzuständen in die "Modellwanne" der Drehscheibe eingebaut werden. Letztere enthält eine Rollmomentenwaage: Mit dem verstellbaren Boden der Modellwanne wurde durch zwei Stahlfedern mit DMS-Streifen eine zweite Platte verbunden, auf der das Modell aufgeschraubt wurde. Die Abdichtung der die

Modellwanne in der WL des Modells abdeckenden Schablonen am Modell erfolgte durch elastische Schaumstoffstreifen. Die Eichung der Rollmomentenwaage erfolgte mit eingebautem Modell, so daß die elastischen Eigenschaften der Dichtung berücksichtigt sind.

Die Drehscheibe ist über einen dreiarmigen Konsolstern mit der Drehvorrichtung der Dreikomponenten-Federgelenk-Waage verbunden. Die 3 DMS-Aufnehmerdosen (Hottinger-Baldwin) haben einen Meßbereich von 20 kp. Ein Styropor-Schwimmer entlastet die Waage von der Vertikalbelastung durch Drehscheibe und Modell. Die Meßwerte konnten an der Skala der die Aufnehmerdosen speisenden Trägerfrequenz-Meßverstärker (Hottinger-Baldwin Typ KWS/II-5) abgelesen werden.

### 3. Modellkonstruktion (vgl. Abb.2)

Der Rumpf (mit vollständigem Unterwasserschiff) und die Aufbauten wurden aus Teakholz gefertigt, Geländer und Schanzkleid waren aus Messing hergestellt. Kleinere Bauteile wurden entweder weggelassen (Poller, kleine Hilfsmaschinen, Fenster, Anker) oder vereinfacht (größere Winden, Ladegeschirr, Davits). Die Ladebäume wurden mit durchgehendem Silberstahldraht realisiert.

Das Modell war nach dem Baukastenprinzip hergestellt. Aufbau, Windenhäuser mit Ladepfosten und Luken waren abnehmbar und konnten an verschiedenen Positionen auf dem Rumpf befestigt werden.

### Variationen (vgl. Abb.3):

Zunächst wurde beim Grundtyp 1 der Aufbau aus der Mittelposition (Variante 1) schrittweise nach hinten verschoben (Varianten 2 bis 4). Durch Entfernen des Ladegeschirrs entstand dann aus Variante 4 die Variante 5: ohne Ladegeschirr, gesamter Aufbau hinten, also ein als Massengutfrachter häufig gebauter Schiffstyp.

Beim Grundtyp 2 mit geteiltem Aufbau wurde die im Vorschiffsbereich befindliche Navigationsbrücke ebenfalls schrittweise nach hinten gesetzt (Varianten 6 bis 8).

### Modellabmessungen (ca. 1:125)

|                  |               |           |                   |
|------------------|---------------|-----------|-------------------|
| Länge über alles | $L_{OA}$      | = 1,287 m | $L_{OA}/B = 8,03$ |
| Breite           | B             | = 0,160 m |                   |
| Tiefgang         | T             | = 0,066 m |                   |
|                  | $T_{Ballast}$ | = 0,039 m | (= 0,6·T)         |

Die übrigen Modelldaten, die sich bei den verschiedenen Varianten unterscheiden, sind in der Übersicht über die Versuche und die Versuchsergebnisse mit aufgeführt (siehe 4.4.).

## 4. Versuche und Versuchsergebnisse

### 4.1. Wichtige Versuchsdaten

|                         |           |                                     |
|-------------------------|-----------|-------------------------------------|
| Strahlquerschnitt       | $A_S$     | = 1,750 m <sup>2</sup>              |
| Strahlgeschwindigkeiten | V         | ca. 20 bzw. 29 m/s                  |
| Staudrücke              | q         | = 25,25 bzw. 50,5 kp/m <sup>2</sup> |
| Reynoldszahlen          | $R_n$     | = 1,70 bis 2,50 · 10 <sup>6</sup>   |
| Strahlversperrungen     | $A_L/A_S$ | = 0,036 bis 0,071                   |

Der Vorkammerdruck des Windkanals wurde während der Versuche konstant gehalten. Bei der vorliegenden geringen maximalen Strahlversperrung war keine Korrektur für den Einfluß der Strahlversperrung auf Staudruck und wirksame Schräganströmung am Modell erforderlich (vgl. [6,7]). Die Teilkräfte auf die Drehscheibe wurden gesondert gemessen und abgezogen. Durch Drehen der Drehscheibe konnten die Modelle beliebig zur Strömung angestellt werden.

### 4.2. Meßgenauigkeit

Die Meßgenauigkeit entsprach im allgemeinen  $\pm 0,5\%$  des zum jeweiligen Meßbereich des Verstärkers gehörigen maximalen Meßwertes. Durch Ablösungserscheinungen traten teilweise größere Meßwertschwankungen auf, besonders im Bereich seitlicher Anströmung. Das führte zu geringerer Meßgenauigkeit. Ebenfalls ist die relative Meßgenauigkeit

kleiner Kräfte (unter 0,5 kp) geringer. Das liegt u.a. auch daran, daß die mit einer gewissen Ungenauigkeit ermittelten Teilkräfte auf die Drehscheibe in diesen Fällen relativ groß im Verhältnis zu den Meßwerten (z.B. Querkraftwerte für kleine Anströmwinkel) sind.

Die 3-Komponenten-Waage ist zur Messung großer Giermomente geeignet, d.h. die beiden Aufnehmerdosen für Widerstand und Giermoment liegen weit auseinander (vgl. Abb.1). Daraus ergibt sich eine geringere Meßgenauigkeit für kleine Giermomente.

#### 4.3. Korrektur des Einflusses der Anlaufgrenzschicht

Eine angenäherte Korrektur der Meßwerte für die Anlaufgrenzschicht der Bodenplatte, die sich z.B. unterschiedlich auf die bei Ladungs- und Ballasttiefgang erhaltenen Meßwerte auswirkt, kann durch Multiplikation der Beiwerte mit dem Verhältnis Staudruck  $q$  außerhalb der Grenzschicht zu mittlerem Staudruck bis zur Höhe  $H_{Lm} = A_L/L_{OA}$  erfolgen (vgl. [6]). In den Tabellen ist dieser Verhältniswert  $q/q_m$  mit angegeben worden.

Übersicht über die durchgeführten Versuche

| Variante | Bemerkung   | $A_L$<br>[m <sup>2</sup> ] | $\frac{AA_L}{A_X}$ | $\frac{2A_L}{L_{OA}^2}$ | $H_{Lm}$<br>[m] | $10^6 \cdot R_n$ | $\Delta \epsilon^0$ | Komp. | Tab. | Abb. |
|----------|-------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------|------------------|---------------------|-------|------|------|
| 1        |             | 0,0921                     | 3,96               | 0,1112                  | 0,072           | 1,73             | 10                  | 3     | 1A   | -    |
| 1        |             | "                          | "                  | "                       | "               | 2,49             | 5                   | "     | 1B   | 5    |
| 1        | ohne Ladeb. | 0,0892                     | 3,83               | 0,1077                  | 0,069           | 2,43             | 10                  | "     | 2A   | -    |
| 1        | ohne Masten | 0,0830                     | 3,72               | 0,1003                  | 0,065           | 2,43             | 10                  | "     | 2B   | 23   |
| 2        |             | 0,0921                     | 3,96               | 0,1112                  | 0,072           | 2,45             | 5                   | "     | 3    | 6    |
| 3        |             | 0,0936                     | 3,97               | 0,1131                  | 0,073           | 2,44             | 5                   | "     | 4    | 7    |
| 4        |             | 0,0936                     | 3,92               | 0,1131                  | 0,073           | 1,75             | 10                  | "     | 5A   | -    |
| 4        |             | "                          | "                  | "                       | "               | 2,46             | 5                   | "     | 5B   | 8    |
| 5        |             | 0,0830                     | 3,60               | 0,1103                  | 0,065           | 2,46             | 10                  | "     | 6    | 9,23 |
| 6        |             | 0,0869                     | 4,40               | 0,1049                  | 0,068           | 2,44             | 5                   | "     | 7    | 10   |
| 7        |             | 0,0872                     | 4,50               | 0,1053                  | 0,068           | 1,73             | 10                  | "     | 8A   | -    |
| 7        |             | "                          | "                  | "                       | "               | 2,46             | 5                   | "     | 8B   | 11   |
| 7        | ohne Ladeg. | 0,0783                     | 4,31               | 0,0946                  | 0,061           | 2,45             | 10                  | "     | 9    | -    |
| 8        |             | 0,0873                     | 4,57               | 0,1054                  | 0,068           | 2,45             | 5                   | "     | 10   | 12   |
| Rumpf    |             | 0,0622                     | 5,09               | 0,0751                  | 0,048           | 1,74             | 10                  | "     | 11A  | -    |
| "        |             | "                          | "                  | "                       | "               | 2,46             | 10                  | 3     | 11B  | 24   |
| 1*       |             | 0,1234                     | 4,48               | 0,149                   | 0,096           | 1,74             | 10                  | 4     | 12A  | -    |
| 1*       |             | "                          | "                  | "                       | "               | 2,47             | 5                   | 4     | 12B  | 13   |
| 2*       |             | 0,1234                     | 4,48               | 0,149                   | 0,096           | 2,43             | 5                   | 3     | 13   | 14   |
| 3*       |             | 0,1249                     | 4,48               | 0,1508                  | 0,097           | 2,43             | 5                   | 3     | 14   | 15   |
| 4*       |             | 0,1249                     | 4,43               | 0,1508                  | 0,097           | 1,71             | 10                  | 4     | 15A  | -    |
| 4*       |             | "                          | "                  | "                       | "               | 2,42             | 5                   | 4     | 15B  | 16   |
| 5*       |             | 0,1143                     | 4,18               | 0,1380                  | 0,089           | 2,42             | 5                   | 3     | 16   | 17   |
| 6*       |             | 0,1182                     | 4,91               | 0,1427                  | 0,092           | 2,43             | 5                   | "     | 17   | 18   |
| 7*       |             | 0,1185                     | 5,01               | 0,1430                  | 0,092           | 1,71             | 10                  | "     | 18A  | -    |
| 7*       |             | "                          | "                  | "                       | "               | 2,41             | 5                   | "     | 18B  | 19   |
| 8*       |             | 0,1186                     | 5,07               | 0,1432                  | 0,092           | 2,40             | 5                   | "     | 19   | 20   |
| Rumpf*   |             | 0,0934                     | 5,65               | 0,1128                  | 0,073           | 1,71             | 10                  | "     | 20A  | -    |
| Rumpf*   |             | "                          | "                  | "                       | "               | 2,41             | 10                  | "     | 20B  | 24   |
| 1**      |             | 0,1235                     | 4,47               | 0,1492                  | 0,096           | 2,45             | 5                   | "     | 21   | 21   |
| 4**      |             | 0,1251                     | 4,60               | 0,1510                  | 0,097           | 2,43             | 5                   | 3     | 22   | 22   |

\* Ballast, unvertrimmt

\*\* Ballast, 1<sup>0</sup> Trimm hecklastig

#### 4.5. Darstellung der Meßwerte

Gemessen wurden in Abhängigkeit vom Anströmwinkel  $\epsilon$  (vgl. Abb.4):  
der Widerstand D (Kraftkomponente in Anströmrichtung)  
die Querkraft C ( " senkrecht zur Anströmrichtung)  
das Giermoment N (Moment um die Hochachse in  $L_{OA}/2$ )  
Das Rollmoment K (Moment um die Längsachse in der WL-Ebene, gemessen  
in zwei Fällen)

Durch Umrechnen erhält man aus C und D die Längskraft X und die Seitenkraft Y.

In den Tabellen und Bildern sind die Ergebnisse in dimensionsloser Form:enthalten:

$$c_{\text{Q}} = \frac{C}{q \cdot A_L} \quad \text{Querkraftbeiwert (entsprechend } c_D, c_X, c_Y)$$
$$\left[ c_{D(Ax)} = \frac{D}{q \cdot A_x} \right]$$

$$c_N = \frac{N}{q \cdot A_L \cdot L_{OA}} \quad \text{Giermomentenbeiwert}$$

$$c_K = \frac{K}{q \cdot A_L \cdot H_{Lm}} = \frac{K \cdot L_{OA}}{q \cdot A_L^2} \quad \text{Rollmomentenbeiwert}$$

(  $q$ ....Staudruck der Anströmgeschwindigkeit  
 $A_L$ ...Überwasserlateralfäche  
 $A_x$ ...Lufthauptspantfläche )

#### 5. Erläuterung der Versuchsergebnisse

In [6] ist der Einfluß der Abmessungsverhältnisse von Überwasserschiffen auf die verschiedenen Kraft- und Momentenbeizahlen erläutert worden. Als wichtige die Beiwerte beeinflussende Größe wurde die Lage und Größe der Aufbauten im Verhältnis zum Rumpf genannt. Die Versuche mit dem Modell des 10 000 tdw-Frachtschiffes dienten hauptsächlich der Ermittlung dieses Einflusses, da bei Neubauten außer den Extremlagen, "Aufbau mittschiffs" und "Aufbau hinten" nahezu alle Zwischenlagen der Aufbauten auch ausgeführt werden.

Bei Schiffen mit etwa gleicher Lateralfäche wirkt sich die Form und

die Lage der Aufbauten besonders auf die Giermomentenbeiwerte  $c_N$  aus. Als relative Druckpunktvorlage soll der Quotient  $c_M/c_Y = x_F/L_{OA}$  verstanden werden. Auf den Zusammenhang zwischen der Vorlage des Lateralschwerpunktes und der Druckpunktvorlage ist in [6] hingewiesen worden. Ein Verschieben des Aufbaus nach hinten (oder eine äquivalente Maßnahme, wie sie z.B. die Teilung des Aufbaus, Variante 6 bis 8, darstellt) verursacht eine Wanderung des Lateralschwerpunktes nach hinten und hat außerdem eine Verschiebung des scheinbaren Druckpunktes nach hinten zur Folge (vgl. Abb.25). Die Seitenkraftbeiwerte werden nur wenig beeinflusst. Demzufolge entsteht eine entsprechende Verschiebung der Kurve der Giermomentenbeiwerte  $c_N$ , und zwar in der Richtung, daß die vorderen Giermomentenmaxima kleiner werden und die hinteren Maxima anwachsen, wenn der Aufbau aus der Mittellage nach achtern verschoben wird.

Die Lage der Aufbauten wirkt sich in weit geringerem Maße auf die übrigen Beiwerte aus. Folgende allgemeine Tendenzen sind bei den einzelnen Beiwerten erkennbar:

Verschieben des Aufbaus aus der Mittellage nach hinten: (Vgl. 1 bis 4, Abb. 5 bis 8 und 13 bis 16)

Der Einfluß auf die Querkraftbeiwerte  $c_C$  ist gering. Für abgelöste und teilabgelöste Strömung werden die Beiwerte etwas kleiner, am ausgeprägtesten im achterlichen Anströmbereich. Das "vordere" Querkraftmaximum nimmt um maximal 4 bis 6%, das "hintere" Maximum um ca. 8 bis 16% ab.

Der Einfluß auf die Widerstandsbeiwerte  $c_D$  ist ebenfalls klein bei großen Anström winkeln. Bei Anström winkeln  $\epsilon < 90^\circ$  tritt meist eine Widerstandsverminderung ein, während für  $\epsilon > 90^\circ$  eine geringe Widerstandszunahme erwartet werden darf. Bei seitlicher Anströmung betrug die gemessene Änderung weniger als 2%, während sie bei vorlicher und achterlicher Anströmung innerhalb der Meßgenauigkeit liegt; es scheint allerdings die Tendenz einer Widerstandsverminderung erkennbar zu sein. Bei achterlicher Anströmung traten stets kleinere Widerstandsbeiwerte auf.

Die Längskraftbeiwerte  $c_X$  erhöhen sich beim Verschieben des Aufbaus nach hinten hauptsächlich für  $\epsilon > 90^\circ$ .

Im beladenen Zustand tritt bei abgelöster Strömung für  $\epsilon < 90^\circ$  ein Verminderung der Seitenkraftbeiwerte  $c_Y$  ein. Für  $\epsilon > 90^\circ$  werden sie etwas erhöht.

Die Rollmomentenbeiwerte  $c_X$  ändern sich nur wenig.

In Abb. 23 sind die Querkraft-, Widerstands- und Momentenbeiwerte für die Var. 1 ohne Masten und Ladegeschirr und die Variante 5 dargestellt. Die beschriebenen Tendenzen sind hier besonders deutlich, da der Einfluß von Masten und Ladegeschirr eliminiert ist.

Aufspaltung in zwei Teilaufbauten: (Aufbau hinten, Navigationsbrücke vorn, Varianten 6 bis 8, Abb. 10 bis 12 und 18 bis 20)

Die Aufbauten sind niedriger, außerdem ist der Lateralschwerpunkt gegenüber Variante 1 nach hinten verschoben.

Verglichen mit Variante 1 treten Verminderungen der  $c_C$ - und  $c_D$ -Werte auf. Bei Anströmung von vorn und achtern liegen die Widerstandsänderungen im Bereich der Meßgenauigkeit.

Ein Verschieben der Navigationsbrücke innerhalb üblicher Grenzen wirkt sich nur wenig auf die Kraft- und Momentenbeiwerte aus (Var. 6 bis 8).

Einfluß der Masten und des Ladegeschirrs:

Untersucht man Rumpf und Aufbauten allein, so erhält man im gesamten Bereich höhere Querkraft- und geringere Widerstandsbeiwerte (vgl. Var. 4 und 5, Abb. 8, 9 und 16, 17). Dadurch tritt auch eine beträchtliche Verminderung des Längskraftbeiwertes für größere Anströmwinkel ein.

Einfluß von Ballast und Trimm:

Beim Übergang in den Ballastzustand auf ebenem Kiel treten folgende Beiwertänderungen ein (vgl. auch die Ausführungen in [6]): Die Querkraftbeiwerte  $c_C$  werden in gesamten Anströmbereich erhöht, die Widerstandsbeiwerte verringern sich bei vorlicher und wachsen bei seitlicher Anströmung.

Eine achterliche Vertrimmung von  $1^\circ$  beeinflusst die Querkraftbeiwerte wenig. Für den vorlichen Anströmbereich erhöhen sich allerdings die Widerstandsbeiwerte, wodurch sich auch größere Längskraftbeiwerte ergeben.

Der Rumpf wurde auf Ladungs- und Ballasttiefgang auch ohne Aufbauten und Ladegeschrir untersucht. In Abb.24 sind die Querkraft- und Widerstandsbeiwerte des Rumpfes, bezogen auf die Lateralfläche des vollständigen Modells, im Vergleich zu den Beiwerten von Variante 1 dargestellt. Deutlich sind die Anteile des Rumpfes an den Kraftbeiwerten zu erkennen:

der Rumpfteil beträgt 60% bzw. 73% (Ballast) von  $c_{Cmax}$ ,

20% bzw. 28% ( " ) von  $c_D$  (für  $\epsilon = 0^\circ$ )

61% bzw. 78% ( " )) von  $c_D$  (für  $\epsilon = 90^\circ$ ).

(Anlaufgrenzschicht nicht korrigiert).

## 6. Zusammenfassung

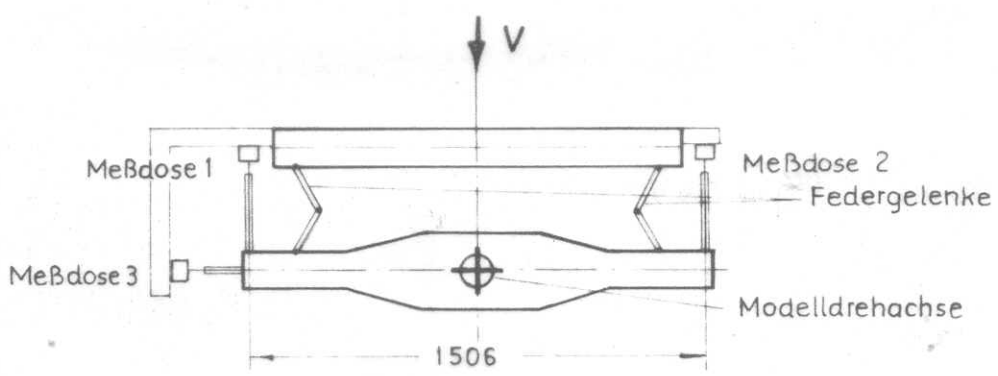
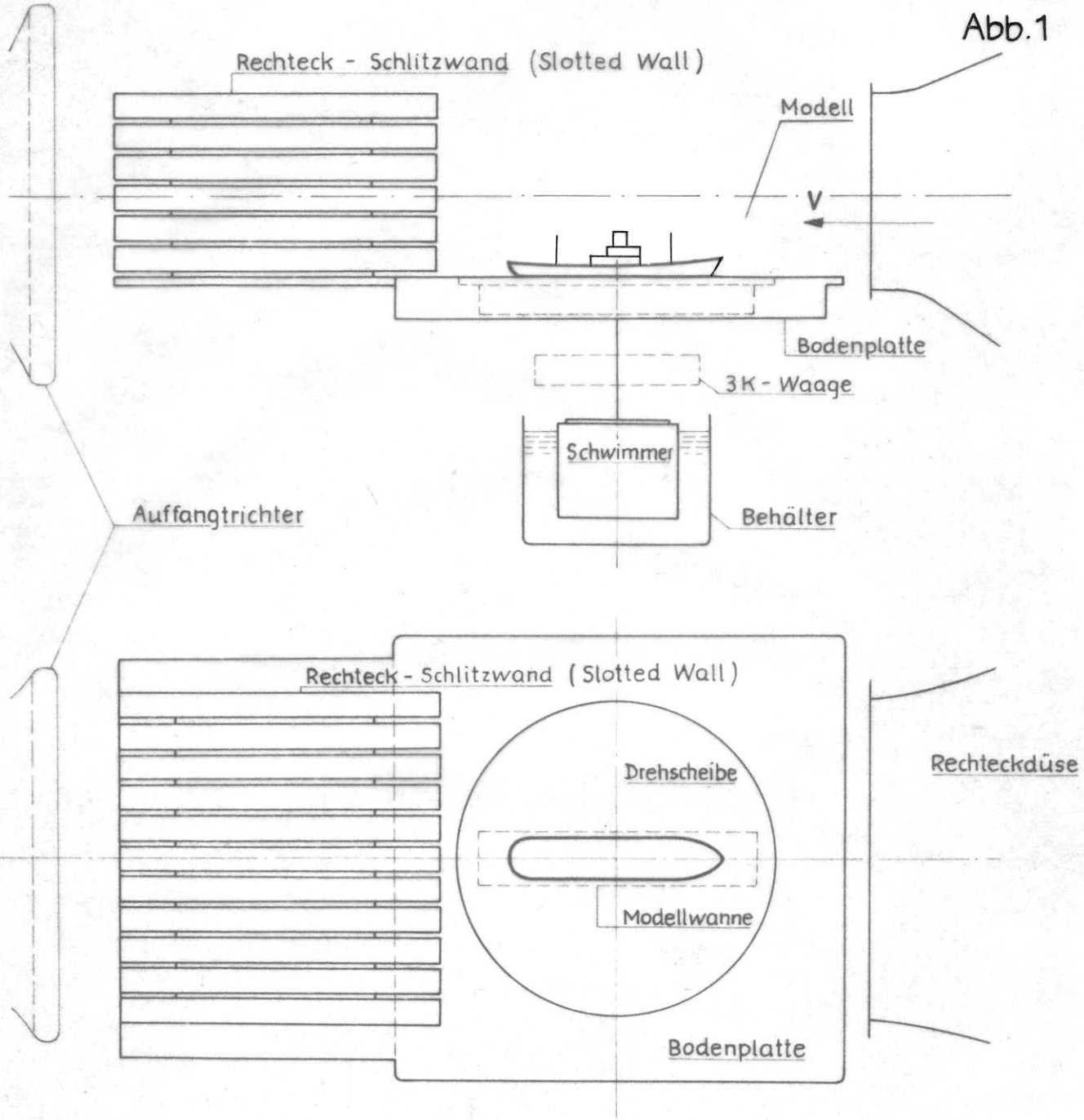
Die Untersuchung des Modells eines 10 000 tdw-Frachtschiffes im Windkanal bei verschiedenen Aufbautenanordnung zeigte, daß die Lage der Aufbauten nur von geringem Einfluß auf die Kraftbeiwerte ist.

Im allgemeinen werden die Längskraftbeiwerte bei Verschieben des Aufbaus nach hinten erhöht, während die Entfernung von Masten und Ladegeschrir bei größeren Anströmwinkeln den umgekehrten Effekt hat.

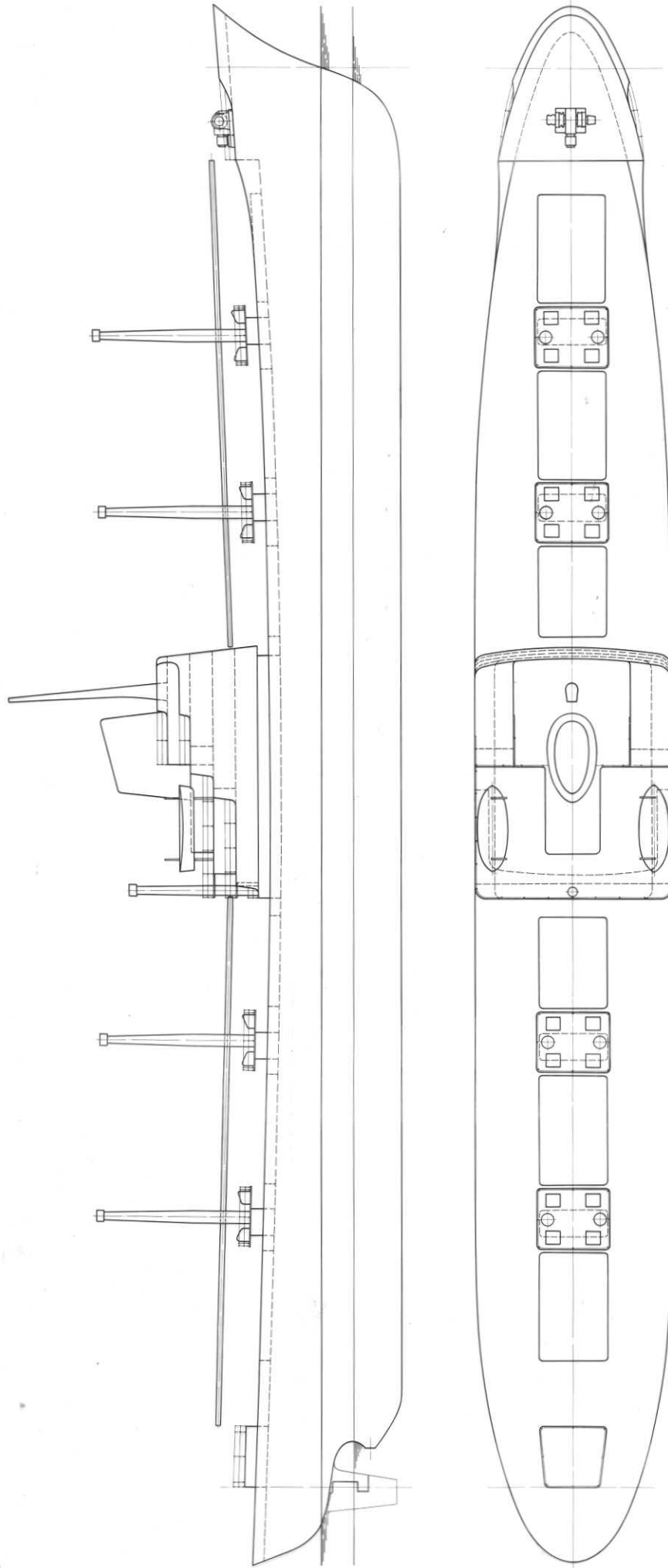
Ein Verschieben des Aufbaus nach hinten bewirkt, wie alle Maßnahmen, die eine achterliche Verschiebung des Lateralschwerpunktes zur Folge haben, eine Druckpunktwanderung im gleichen Sinne. Die Kurve der Giermomentenbeiwerte  $c_N$  verschiebt sich entsprechend.

## 7. Schrifttum

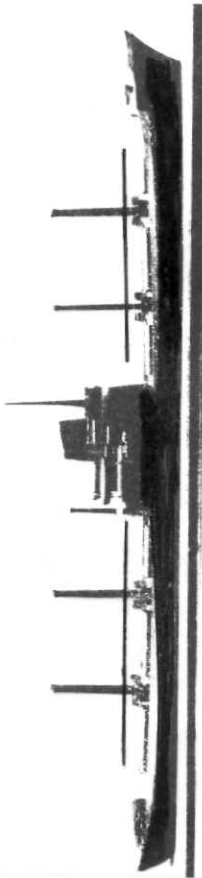
- [1] B. Wagner: Auswertung veröffentlichter Modellmessungen zur Bestimmung der Luftkräfte an Überwasserschiffen bei Schräganströmung. IfS-Bericht Nr. 113, April 1963.
- [2] B. Wagner: Auswertung von Windkanalversuchen zur Bestimmung der Windkräfte an Überwasserschiffen bei inhomogener Strömung. IfS-Bericht Nr. 157, Dezember 1965.
- [3] B. Wagner: Windkanalversuche mit dem Modell des Forschungsschiffes Meteor. IfS-Bericht Nr. 153, Februar 1964.
- [4] B. Wagner: Windkanalversuche mit Überwasserschiffsmodellen - Kümo 600 tdw, Frachtschiff 4500 tdw, Kühlschiff, Tanker 50 000 tdw, IfS-Bericht Nr. 188 (in Vorbereitung).
- [5] B. Wagner: Windkanalversuche mit Überwasserschiffsmodellen - Fährschiff, Fahrgastschiff, Hecktrawler, Schlepper und Tragflächenboot. IfS-Bericht Nr. 189 (in Vorbereitung).
- [6] B. Wagner: Windkräfte an Überwasserschiffen. Jahrb. STG 61 (1967), Kutzfassung Schiff und Hafen 19 (1967), Heft 12.
- [7] B. Wagner: Windkanalversuche mit Schiffssilhouetten und Rechteckplatten zur Prüfung des Versperrungseinflusses in einem Rechteckstrahl. IfS-Bericht Nr. 160, Oktober 1967.



Skizze der Versuchsanordnung



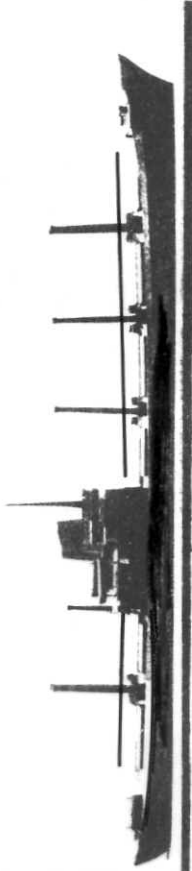
Frachtschiff 10000tdw, Variante 1 (Modellzeichnung)



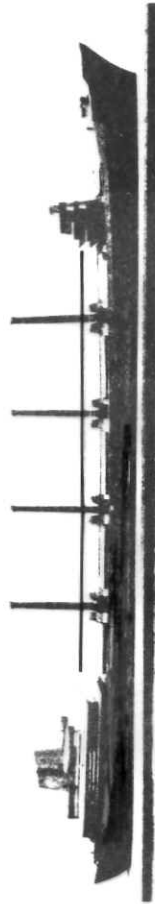
Var. 1



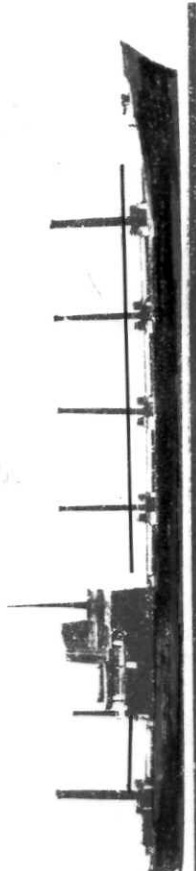
Var. 5



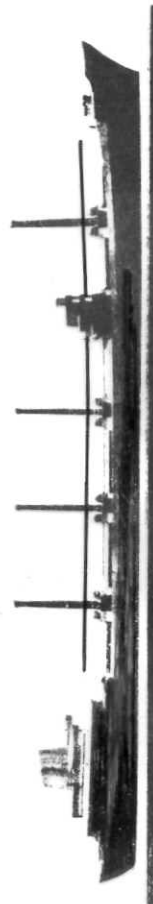
Var. 2



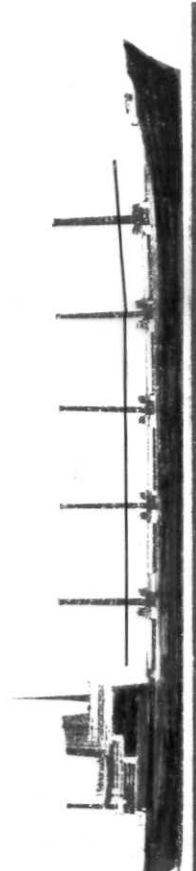
Var. 6



Var. 3



Var. 7

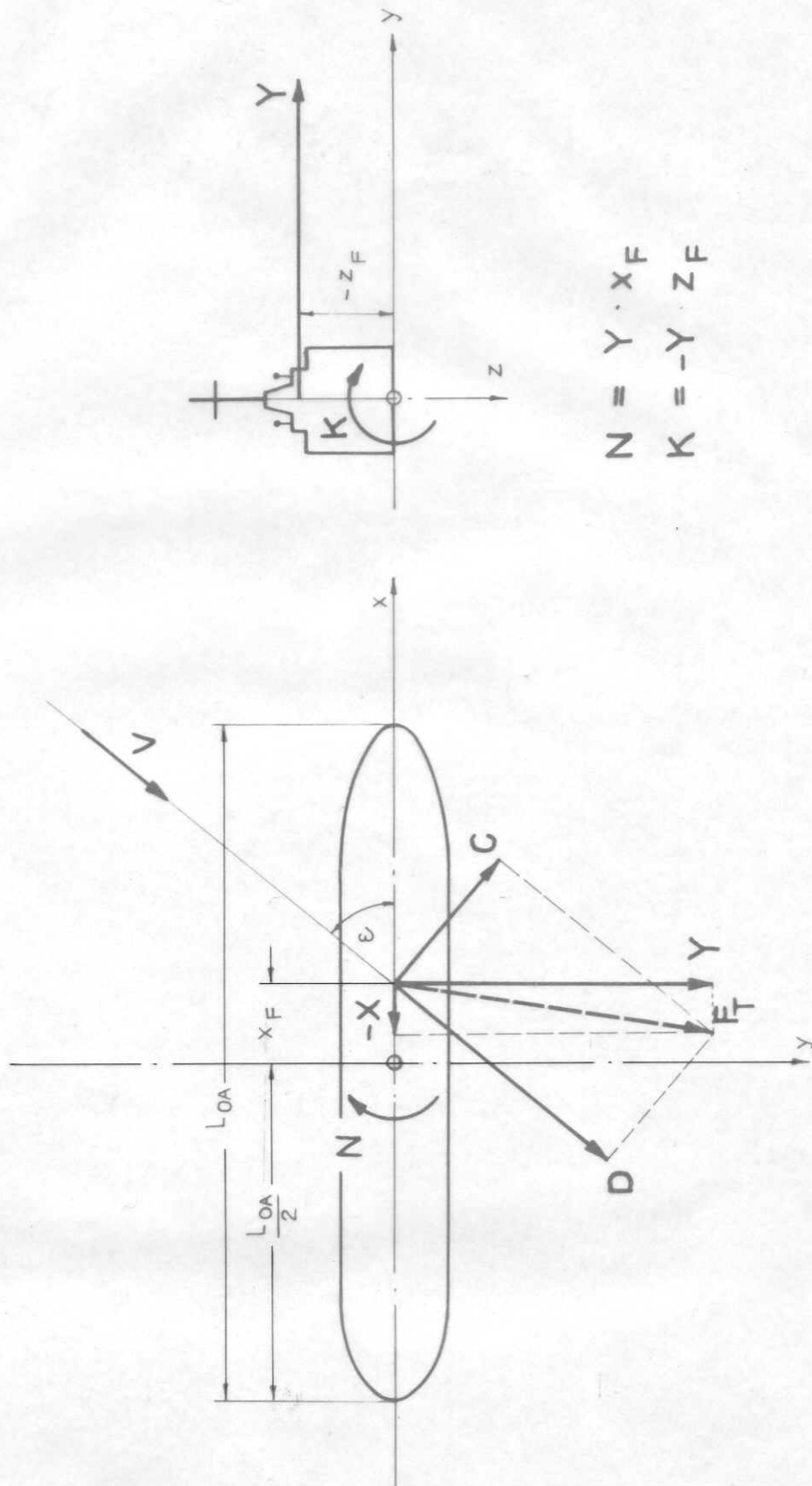


Var. 4



Var. 8

Definitionsskizze: Horizontale Kraftkomponenten und Momente der Luftkraft



$$N = Y \cdot x_F$$

$$K = -Y \cdot z_F$$

Abb. 5  
(vergl. Tab. 1)

Frachtschiff 10000 tdw, beladen  
Variante 1 (Aufbau mittschiffs)

$$\frac{2A_L}{L_{OA}^2} = 0,1112 ; \frac{A_L}{A_x} = 3,96 ; R_n = 2,49 \cdot 10^6$$

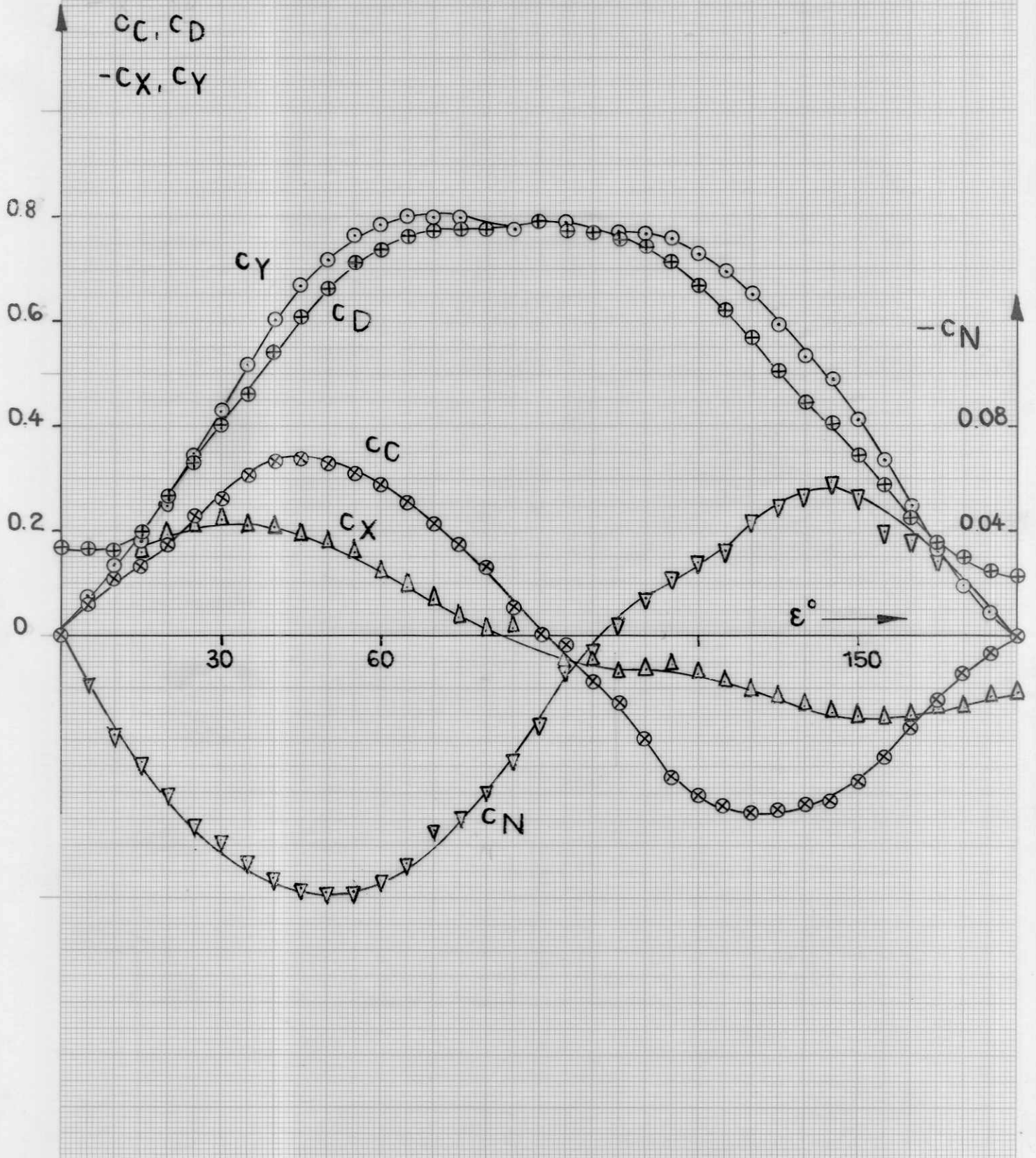
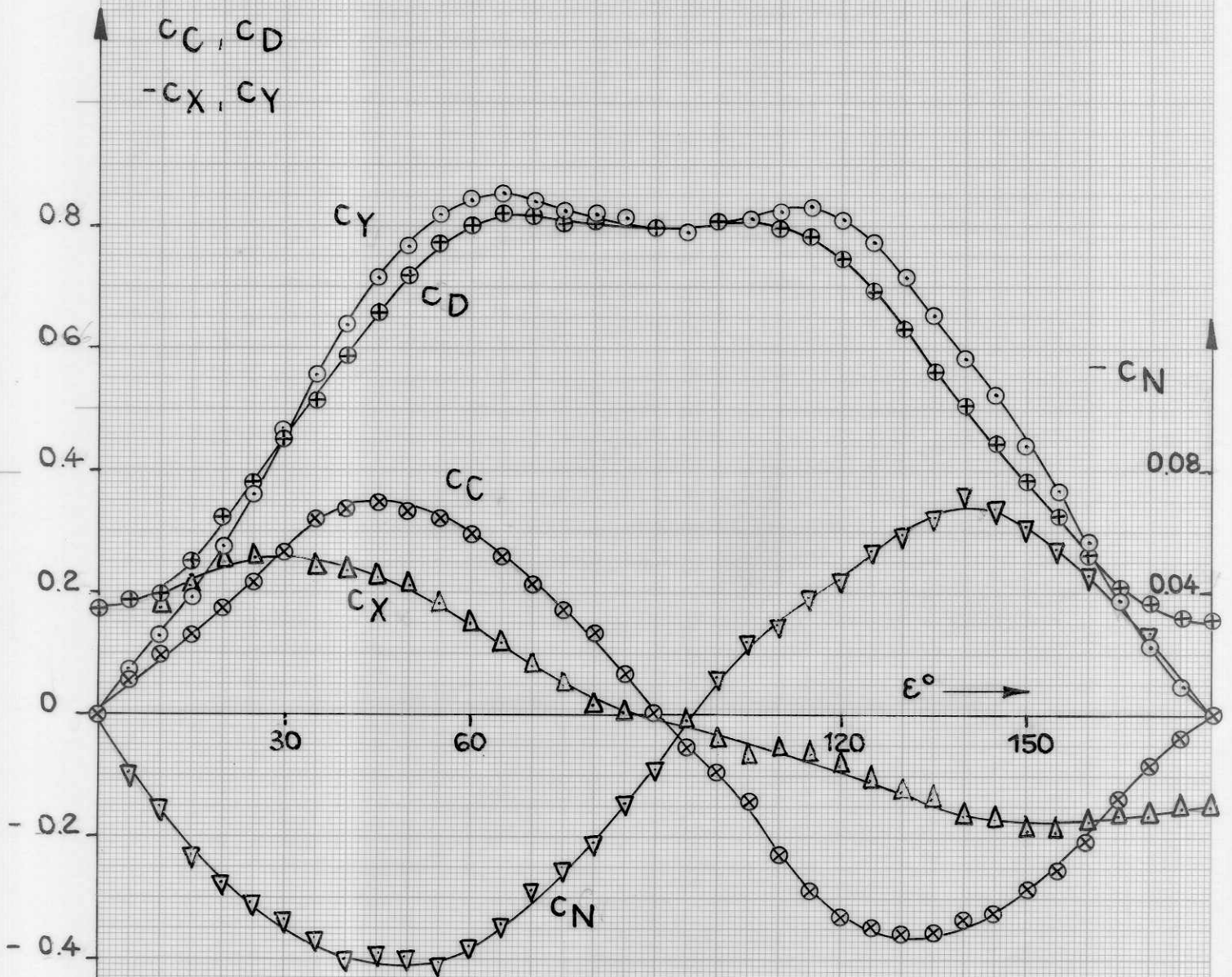


Abb.6  
(vergl. Tab.3)

Frachtschiff 10000 tdw, beladen  
Variante 2

$$\frac{2A_L}{L_{OA}^2} = 0,1112 ; \frac{A_L}{A_X} = 3,96 ; R_n = 2,45 \cdot 10^6$$



Frachtschiff 10000 tdw, beladen  
Variante 3

$$\frac{2 A_L}{L_{OA}^2} = 0,1131 ; \frac{A_L}{A_X} = 3,97 ; R_n = 2,44 \cdot 10^6$$

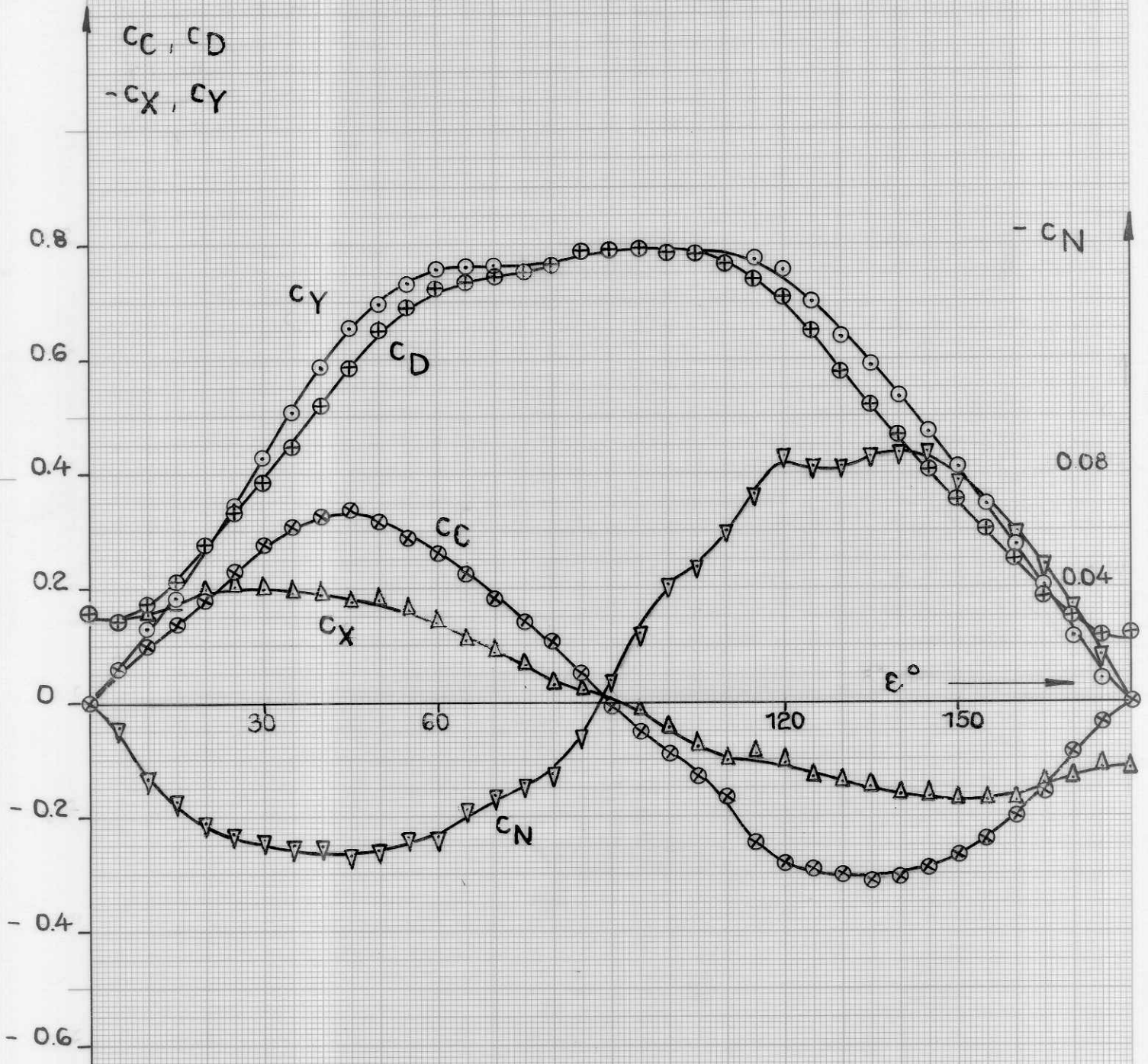


Abb. 8  
(vergl. Tab. 5)

Frachtschiff 10 000 t d w , beladen  
Variante 4 , ( Aufbau hinten )

$$\frac{2 A_L}{L_{OA}^2} = 0,1131 ; \frac{A_L}{A_X} = 3,92 ; R_n = 2,46 \cdot 10^6$$

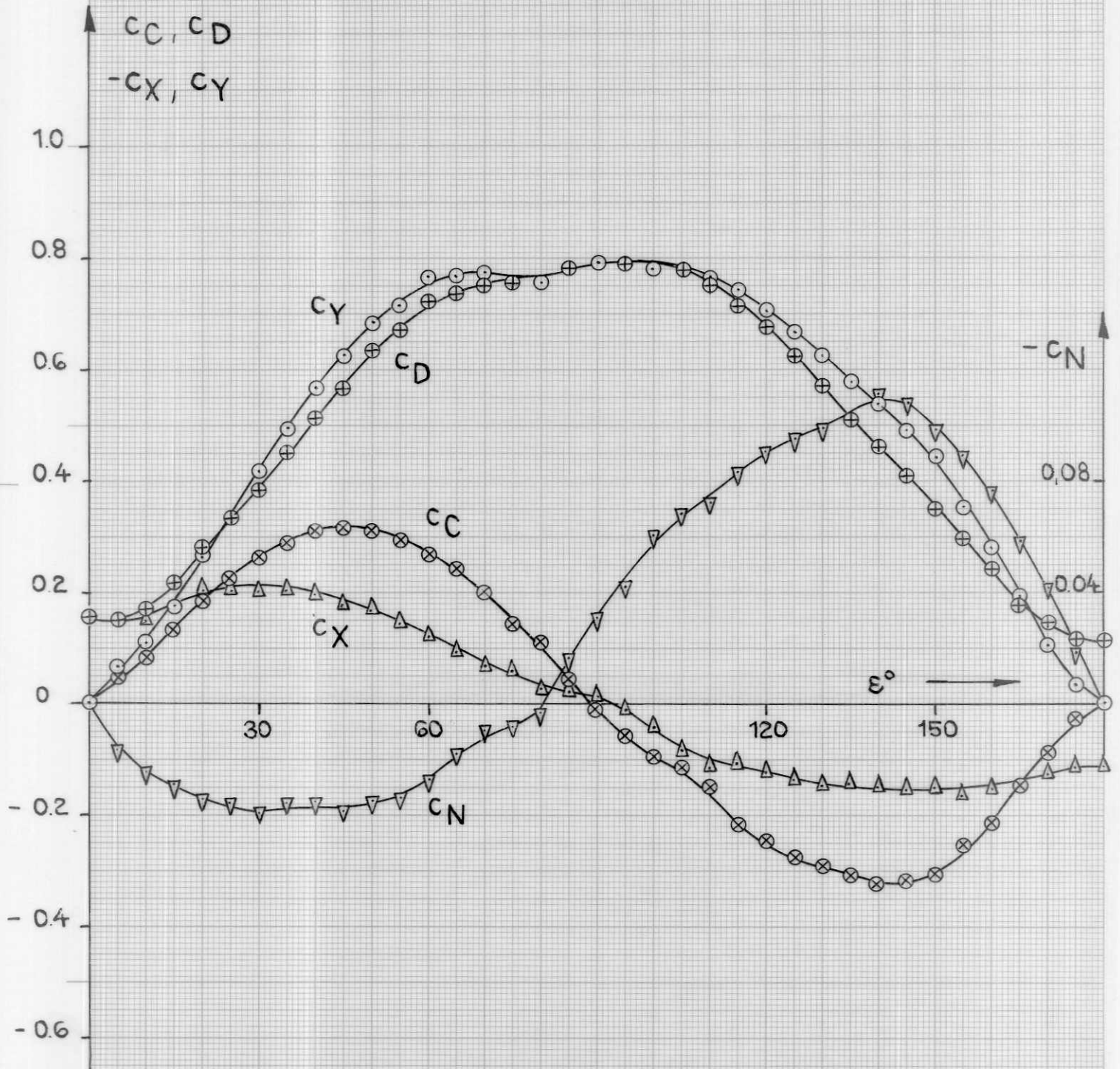


Abb. 9  
(vergl. Tab. 6)

Frachtschiff 10 000 tdw, beladen  
Variante 5 (Aufbau hinten, ohne Ladegeschrir)

$$\frac{2A_L}{LoA^2} = 0,1103 ; \frac{A_L}{A_X} = 3,60 ; R_n = 2,46 \cdot 10^6$$

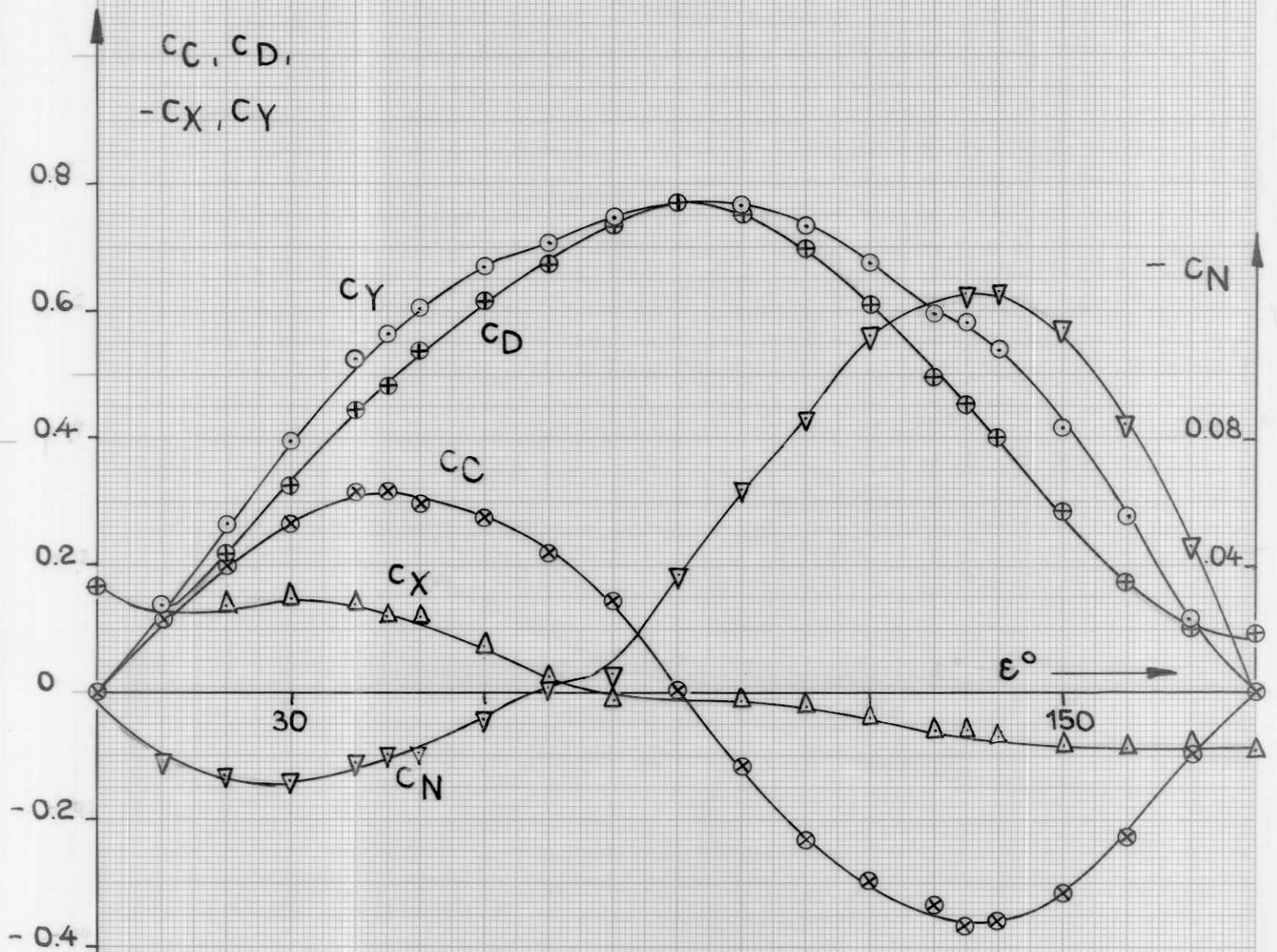
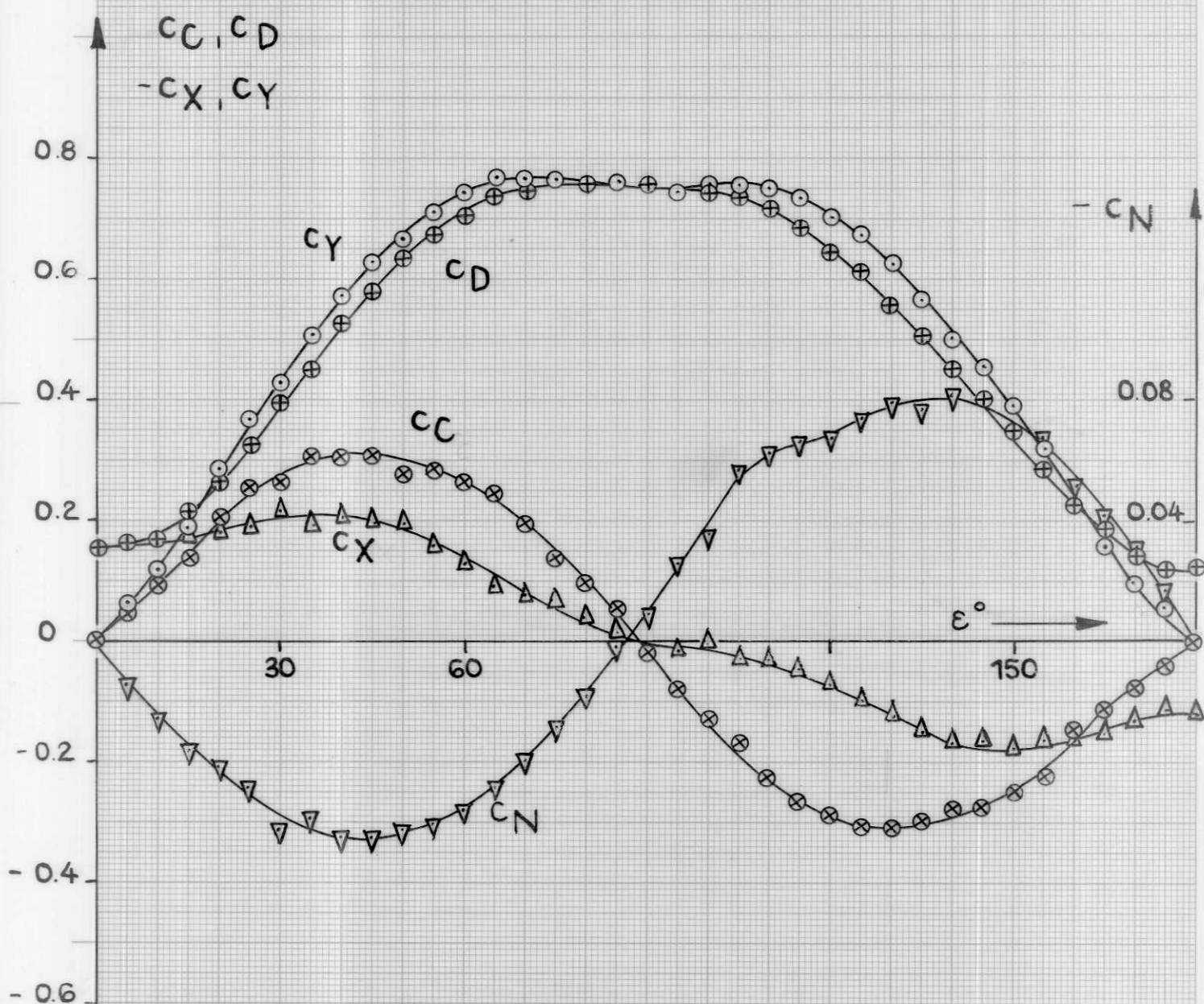


Abb. 10  
(vergl. Tab. 7)

Frachtschiff 10 000 tdw, beladen  
Variante 6 (geteilter Aufbau, Brücke vorn)

$$\frac{2A_L}{LOA^2} = 0,1049 ; \frac{A_L}{A_X} = 4,40 ; R_n = 2,44 \cdot 10^6$$



Frachtschiff, 10000 tdw, beladen  
Variante 7

$$\frac{2A_L}{L_{OA}^2} = 0,1053 ; \frac{A_L}{A_X} = 4,50 ; R_n = 2,46 \cdot 10^6$$

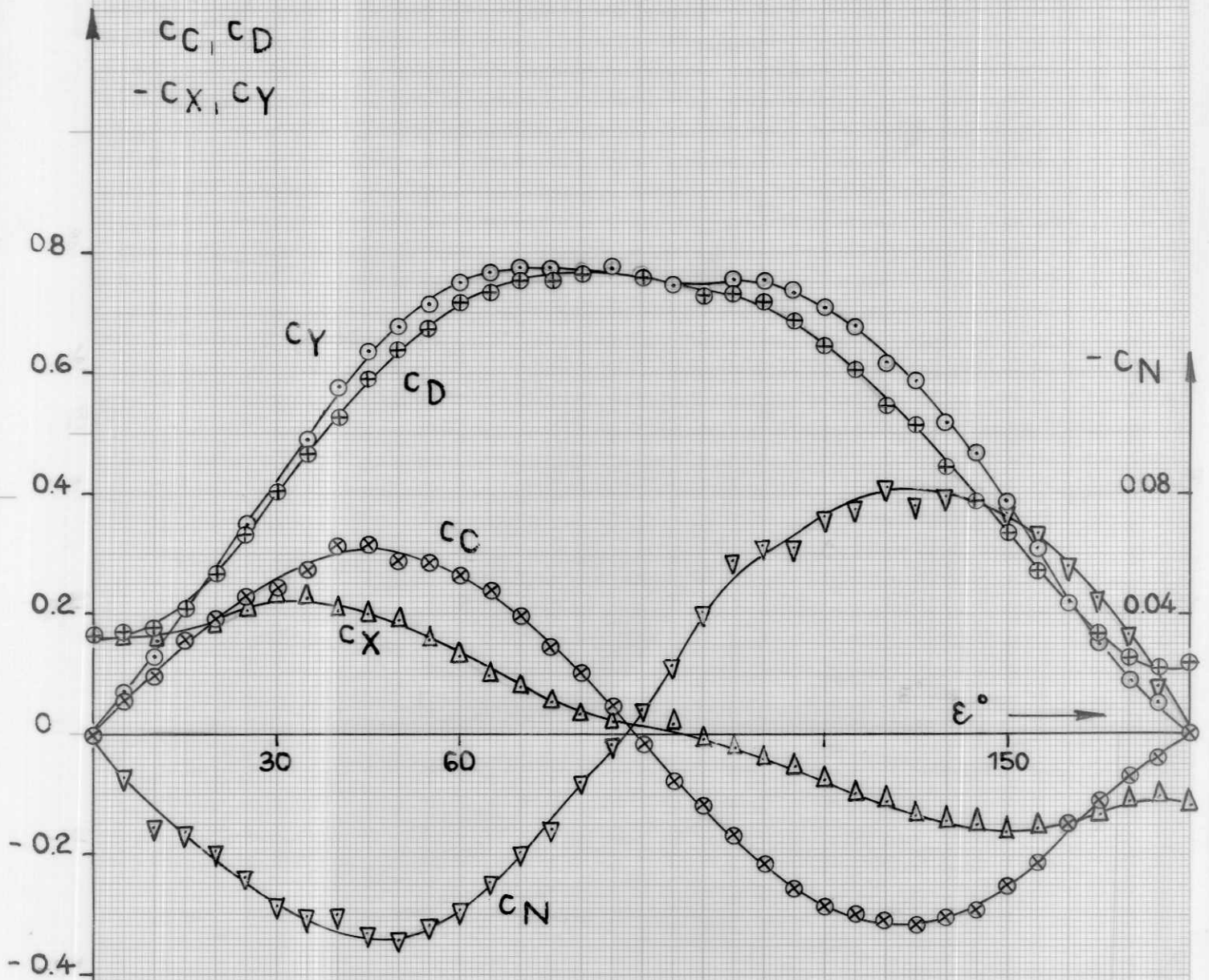
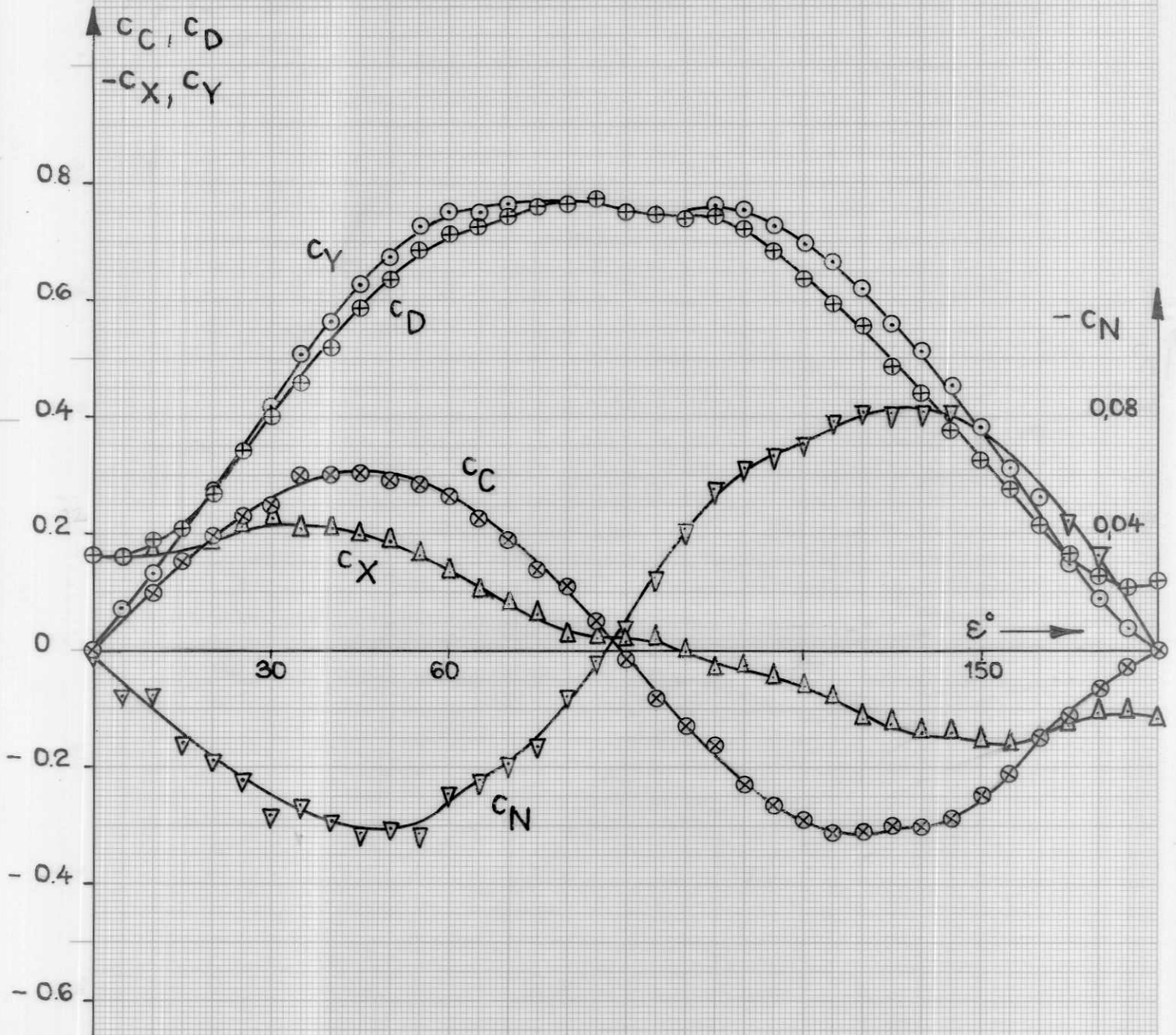


Abb. 12  
(vergl. Tab. 10)

$$\frac{z A_L}{L_0 A^2} = 0,1054 ; \quad \frac{\lambda L}{A_X} = 4,57 ; \quad R_n = 2,45 \cdot 10^{-7}$$



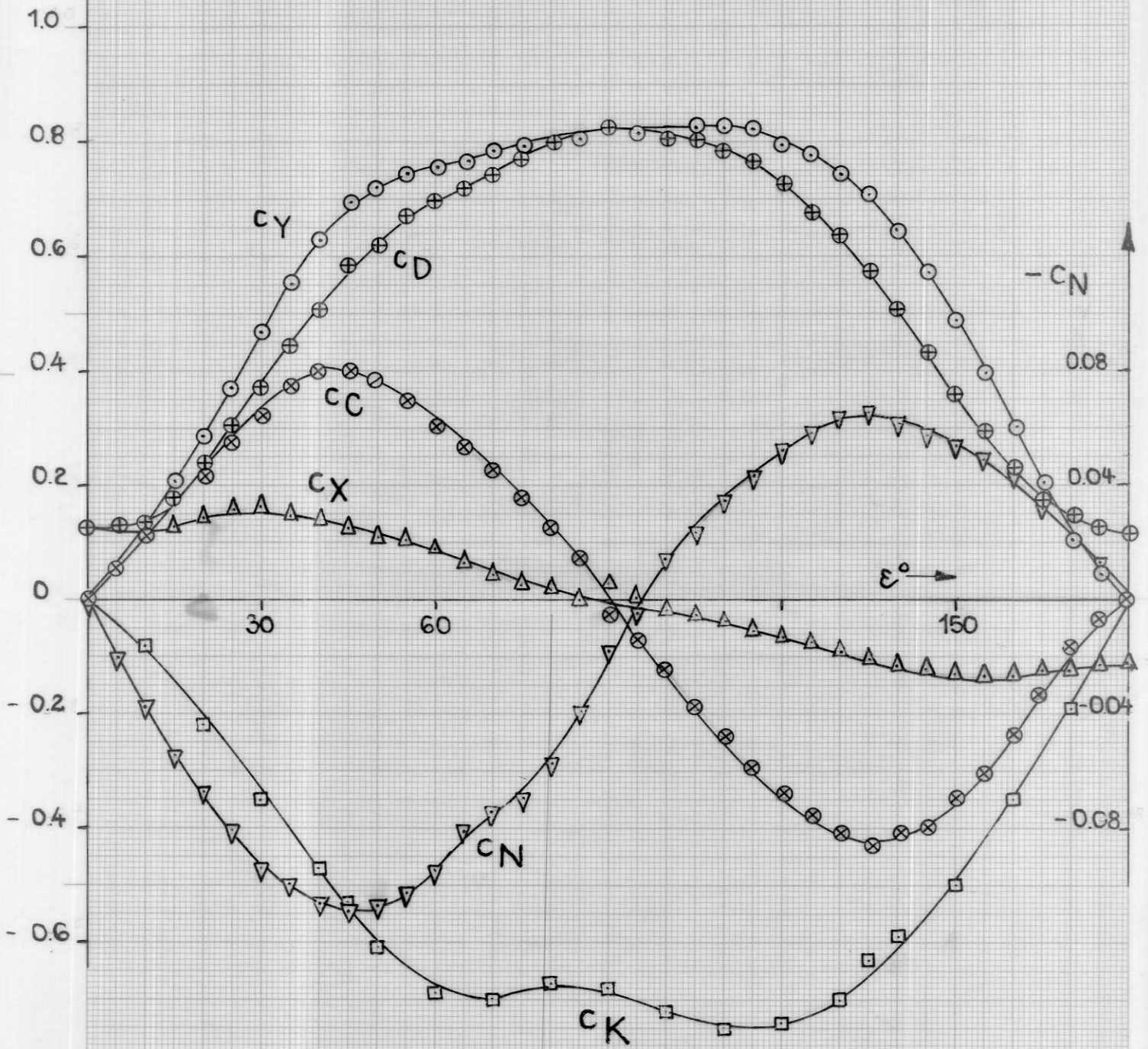
Frachtschiff 10000 t<sub>dw</sub>, Ballast  
 Variante 1

$$\frac{2A_L}{L_{OA}^2} = 0,149 ; \frac{A_L}{A_X} = 4,48 ; R_n = 2,47 \cdot 10^6$$

$c_C, c_D$

-  $c_X, c_Y$

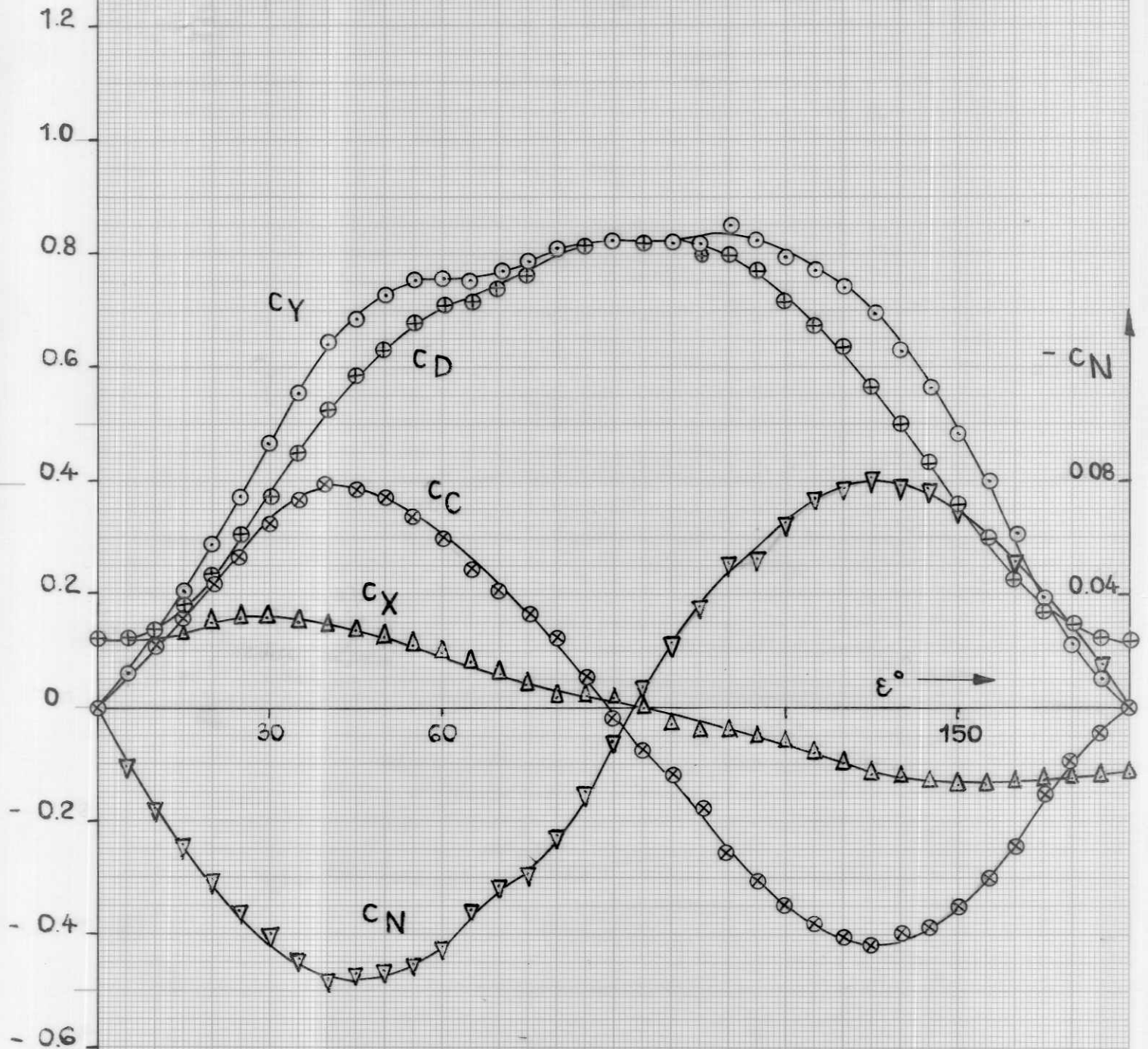
-  $c_K$



Frachtschiff 10000 tdw, Ballast  
Variante 2

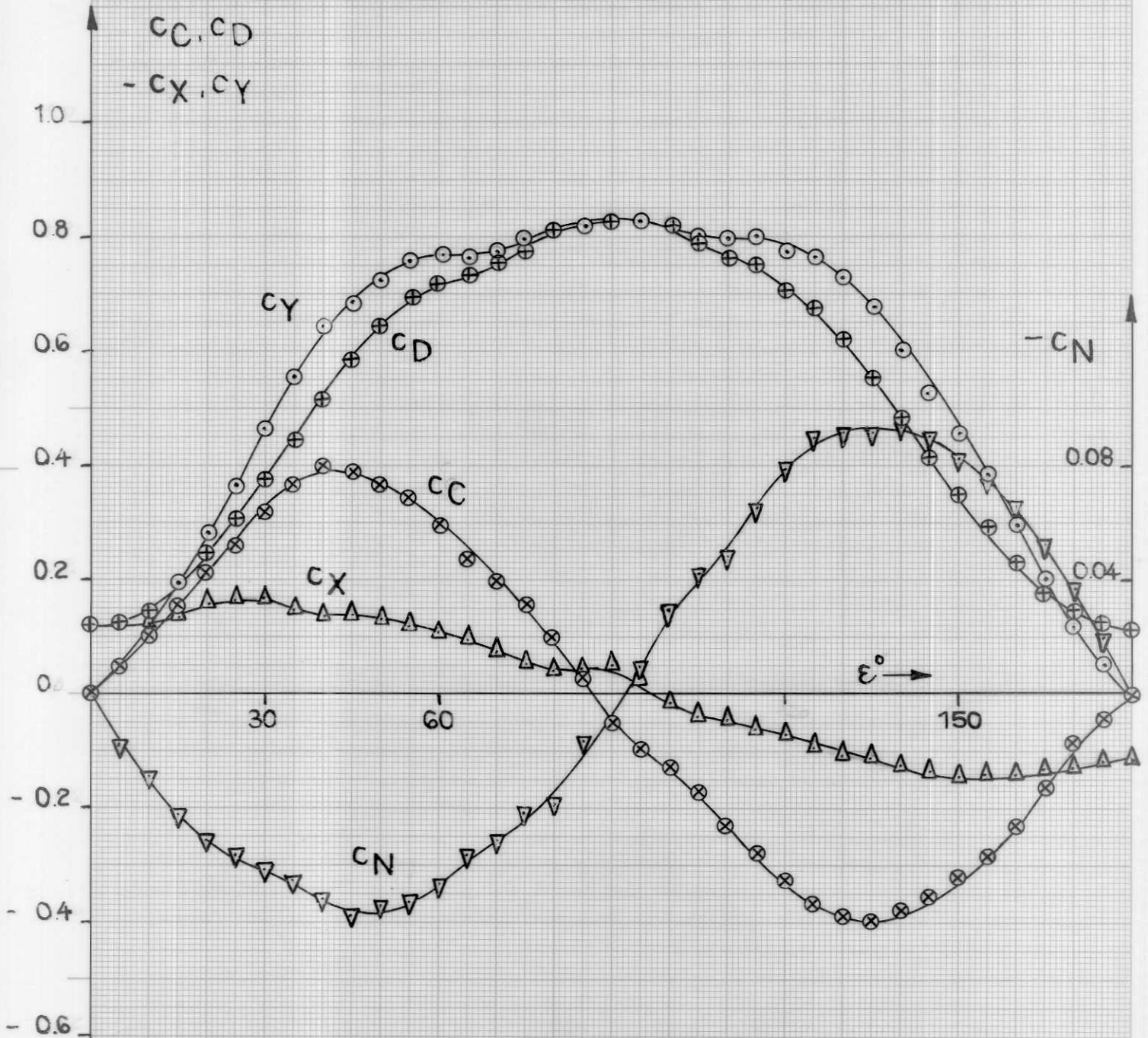
$c_C, c_D$   
 $-c_X, c_Y$

$$\frac{2A_L}{L_{OA}^2} = 0,149 ; \frac{A_L}{A_X} = 4,48 ; R_n = 2,43 \cdot 10^6$$



Frachtschiff 10000 tdw, Ballast  
Variante 3

$$\frac{2A_L}{L_{0A}^2} = 0,1508 ; \frac{A_L}{A_X} = 4,48 ; R_n = 2,43 \cdot 10^6$$



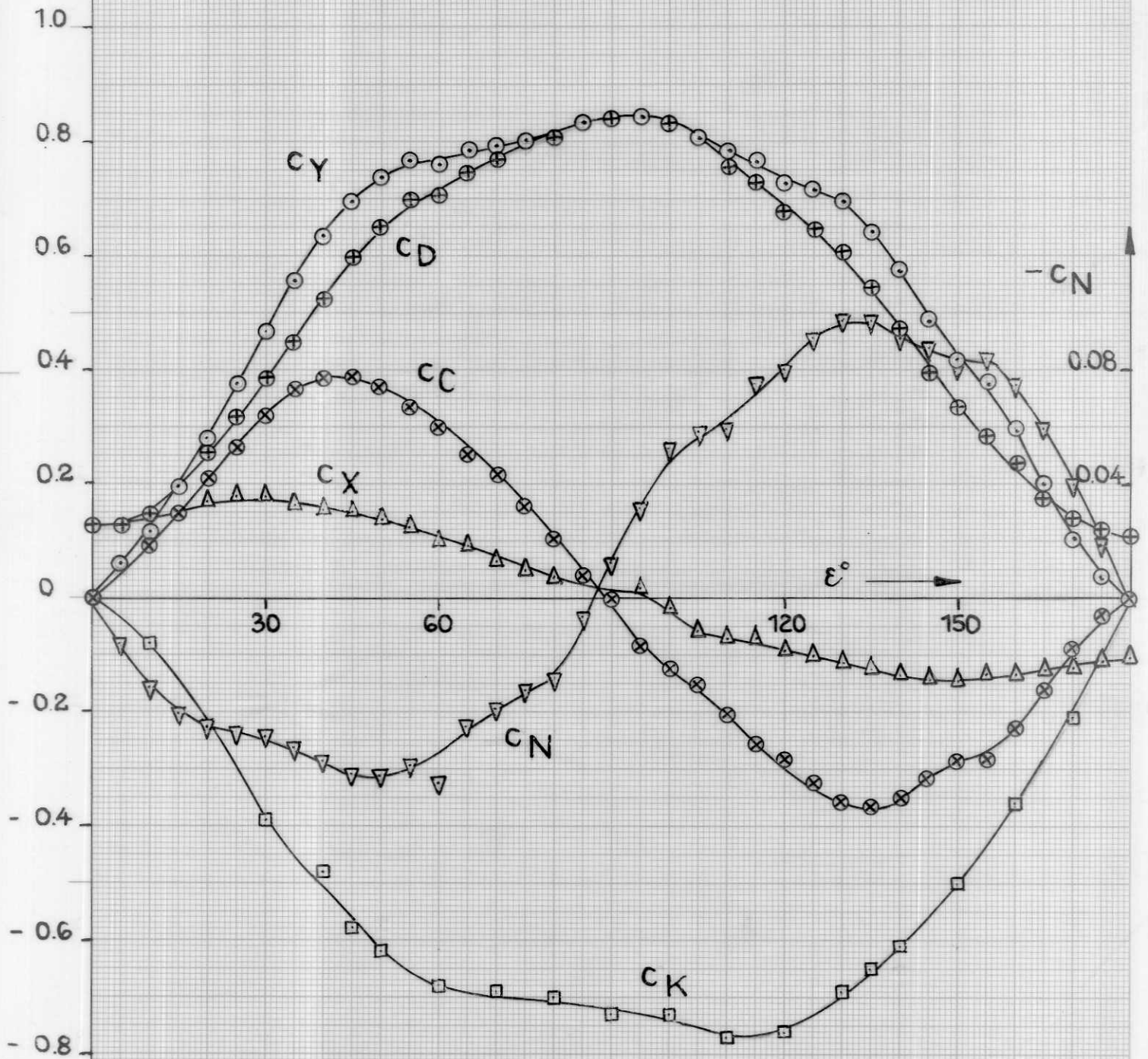
Frachtschiff 10000 tdw, Ballast  
Variante 4 (Aufbau hinten)

$$\frac{2 A_L}{L_{0A}} = 0,1508 ; \frac{A_L}{A_X} = 4,43 ; R_n = 2,42 \cdot 10^6$$

$c_C, c_D$

$c_X, c_Y$

$-c_K,$



Frachtschiff 10000 tdw, Ballast  
Variante 5 (Aufbau hinten, ohne Ladegeschirr)

$$\frac{2A_L}{L_{OA}^2} = 0,1380; \quad \frac{A_L}{A_x} = 4,18; \quad R_n = 2,42 \cdot 10^6$$

$c_C, c_D$   
 $-c_X, c_Y$

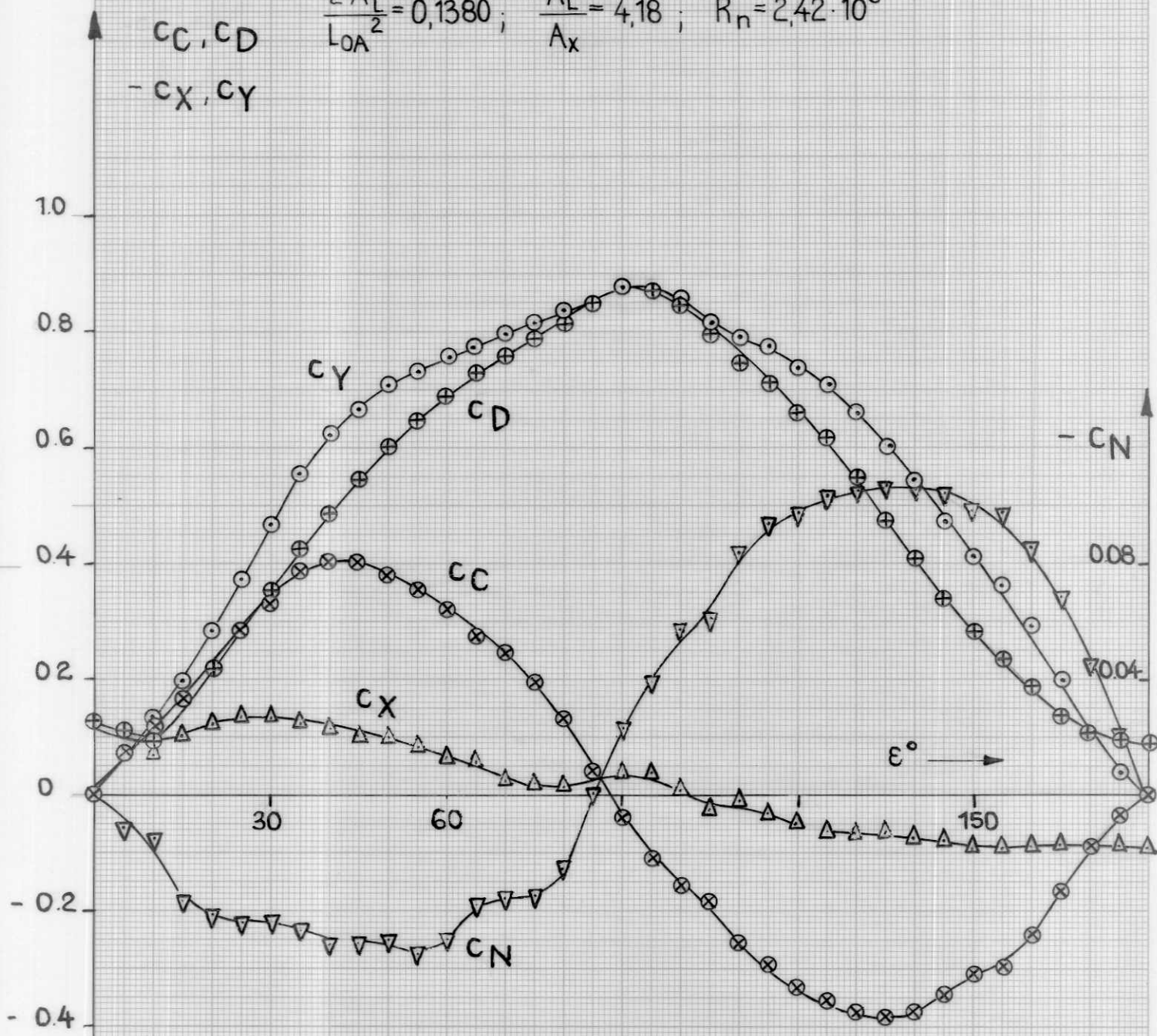
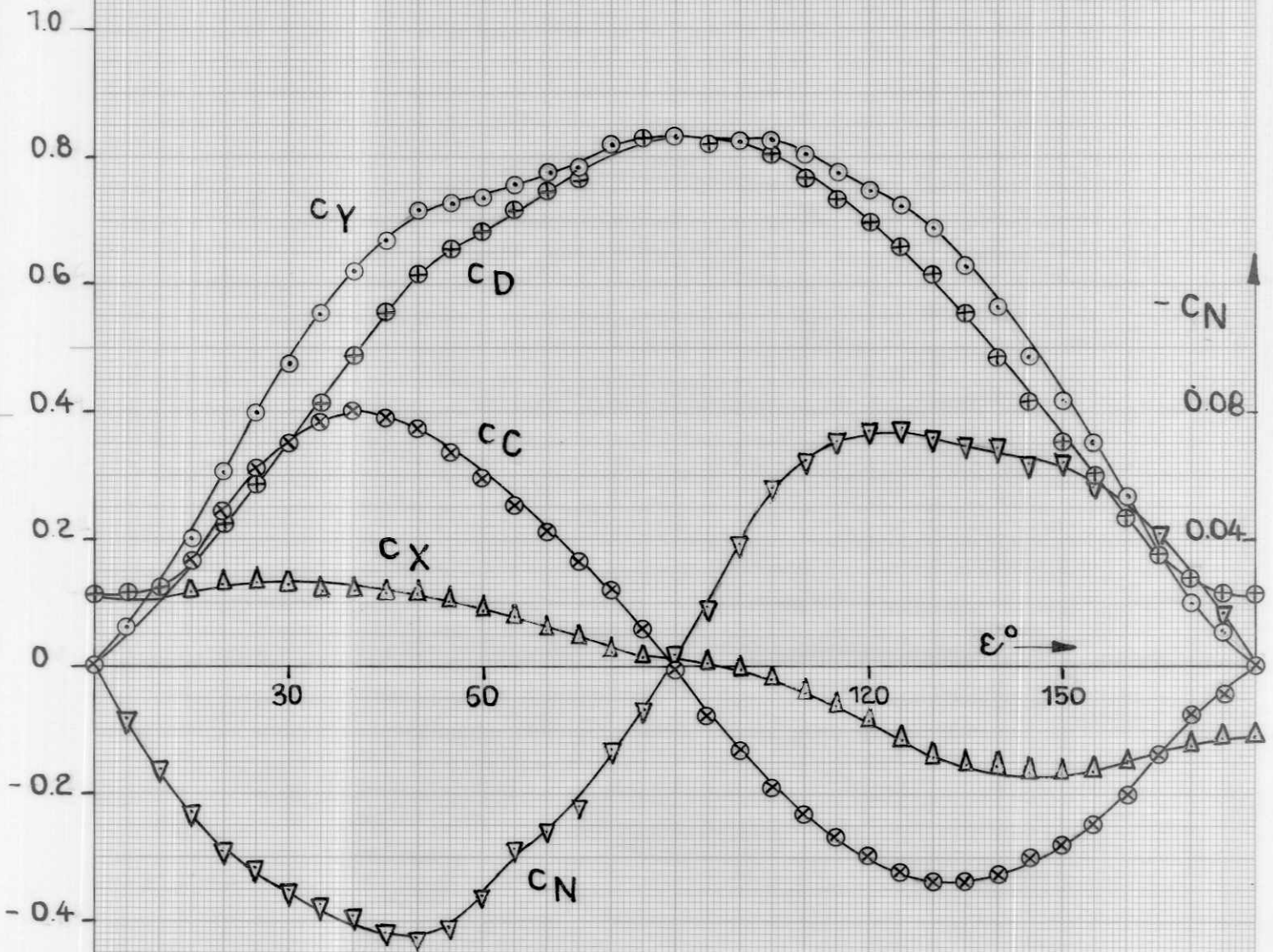


Abb.18  
(vergl. Tab.17)

Frachtschiff 10 000 tdw Ballast  
Variante 6 (geteilter Aufbau, Brücke vorn)

$$\frac{2A_L}{L_{OA}^2} = 0,1427 ; \frac{A_L}{A_X} = 4,91 ; R_n = 2,43 \cdot 10^6$$

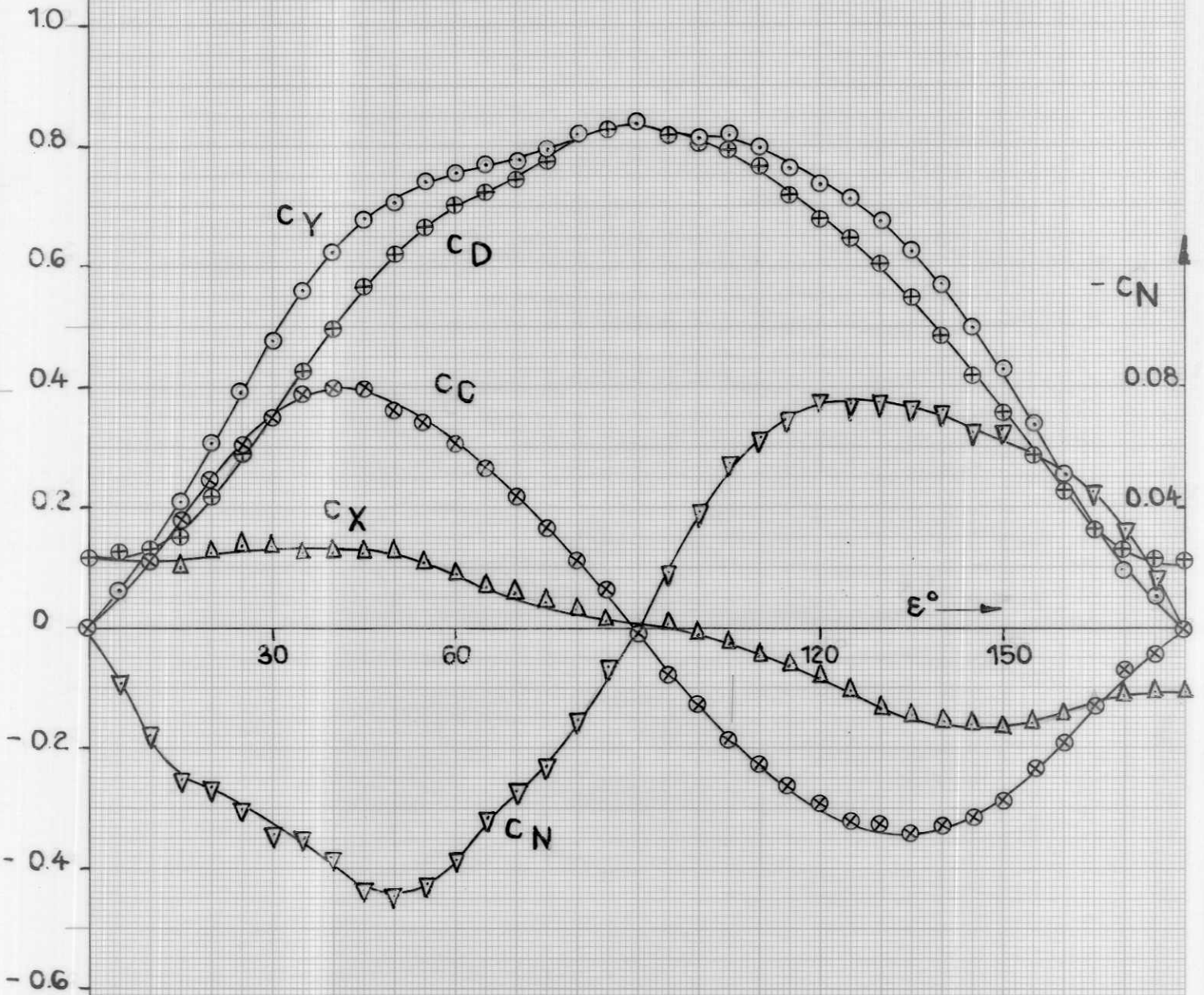
$c_C, c_D$   
 $-c_X, c_Y$



Variante 7

$$\frac{2A_L}{L_{0A}^2} = 0,1430 ; \quad \frac{A_L}{A_X} = 5,01 ; \quad R_n = 2,41 \cdot 10^6$$

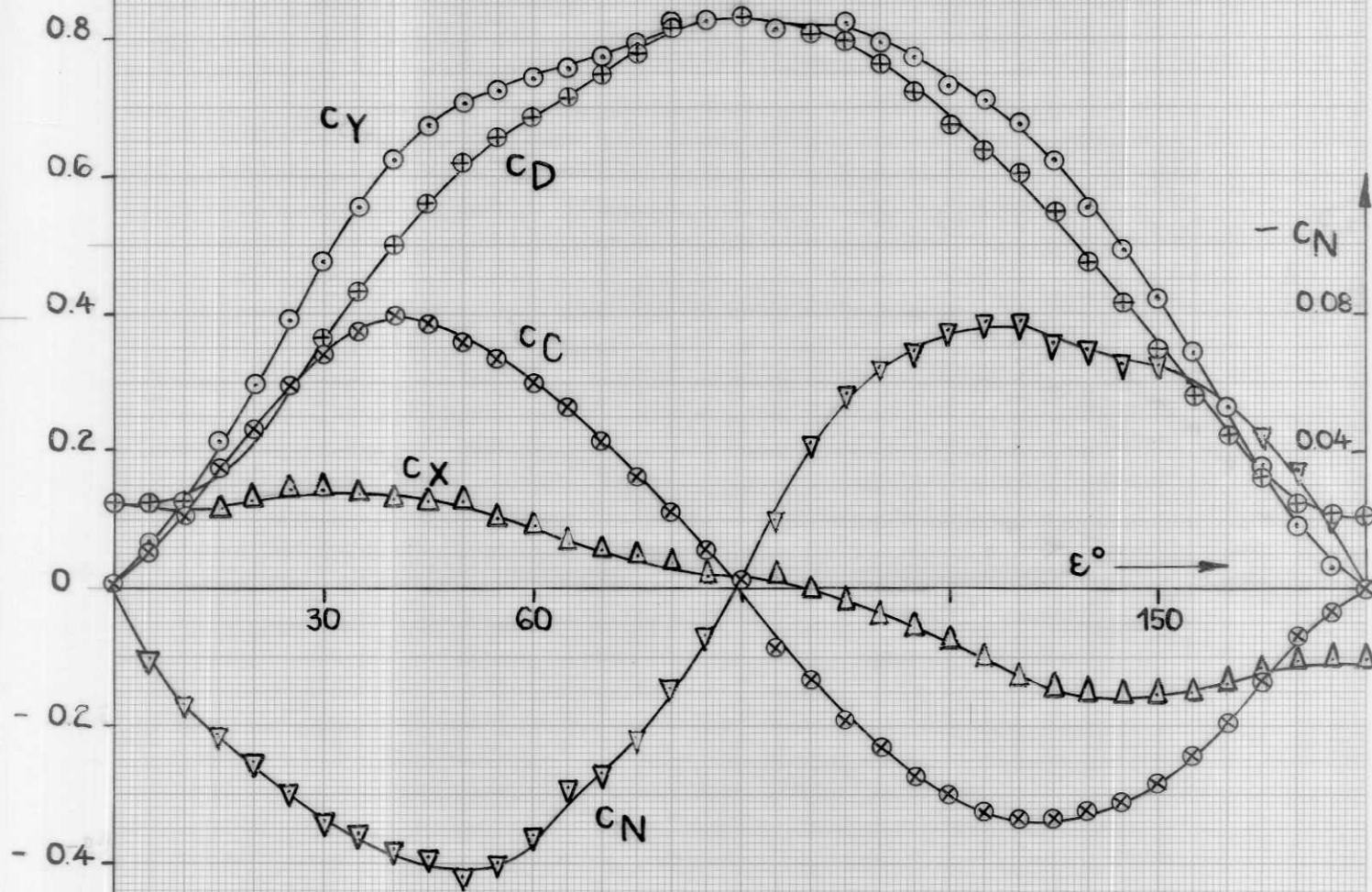
$c_C, c_D$   
 $-c_X, c_Y$



Frachtschiff 10000 t<sub>dw</sub>, Ballast  
Variante 8

$$\frac{2 A_L}{L_{OA}^2} = 0,1432 ; \frac{A_L}{A_X} = 5,07 ; R_n = 2,40 \cdot 10^6$$

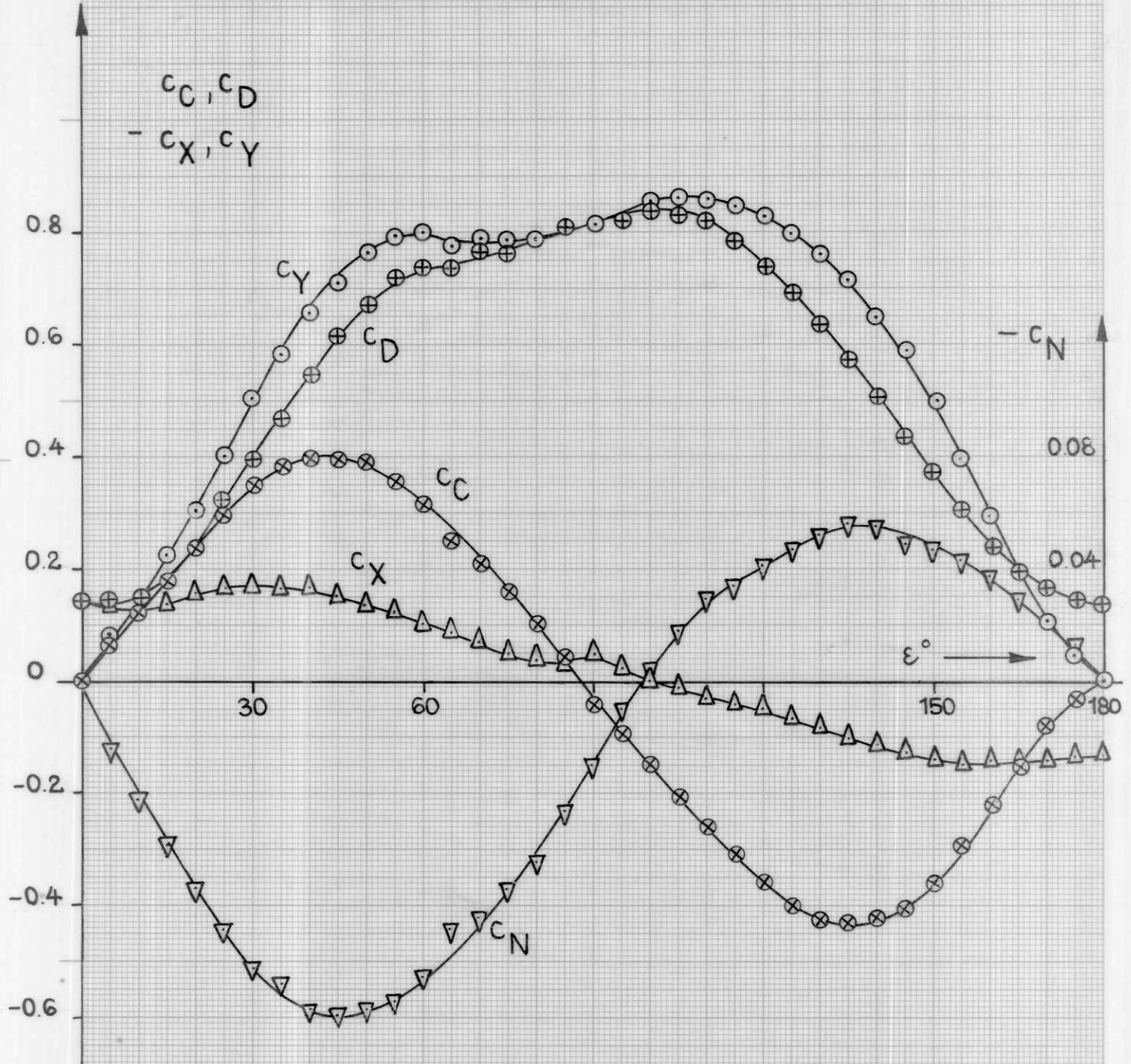
$c_C, c_D$   
 $-c_X, c_Y$



Frachtschiff 10000 tdw, Ballast  
1° Trimm hecklastig  
Variante 1 (Aufbau mittschiffs)

$$\frac{2 A_L}{L_{OA}} = 0,1492 ; \frac{A_L}{A_X} = 4,47 ; R_n = 2,45 \cdot 10^6$$

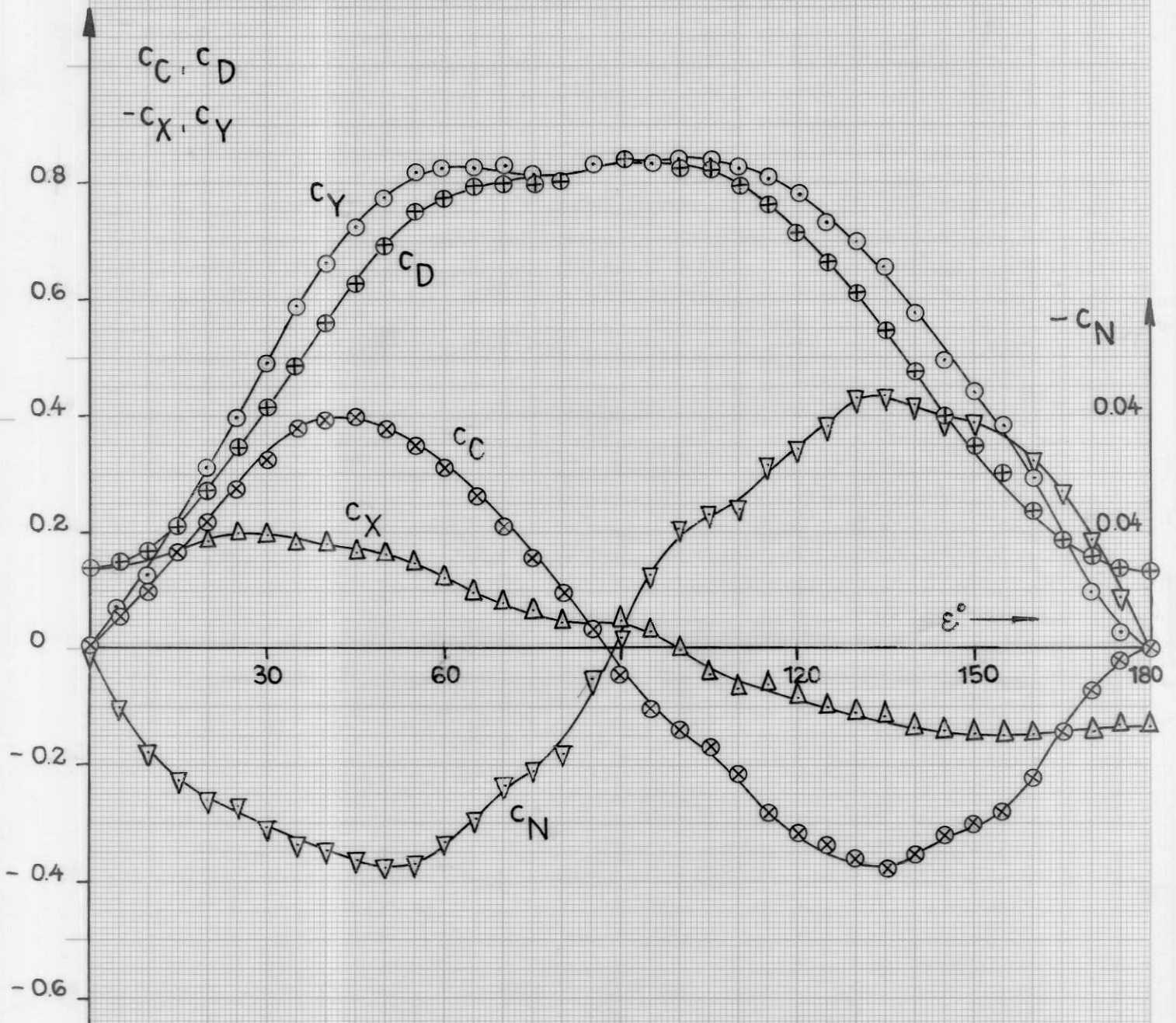
$c_C, c_D$   
 $- c_X, c_Y$



8/4

Frachtschiff 10000 t<sub>dw</sub> Ballast  
1° Trimm hecklastig  
Variante 4 (Aufbau hinten)

$$\frac{2A_L}{L_{OA}^2} = 0,1510 ; \frac{A_L}{A_X} = 4,60 ; R_n = 2,43 \cdot 10^6$$



2/39  
2/44

Einfluß der Lage des Aufbaus auf die  
Kraft- und Momentenbeiwerte  
Frachtschiff 10000 tdw, beladen

|  |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|
|  | $c_C$ | $c_D$ | $c_N$ |
| Variante 1 ohne Ladegeschiir                 | ⊗     | ⊕     | ▽     |
| Variante 4 ohne Ladegeschiir =<br>Variante 5 | x     | +     | ▼     |

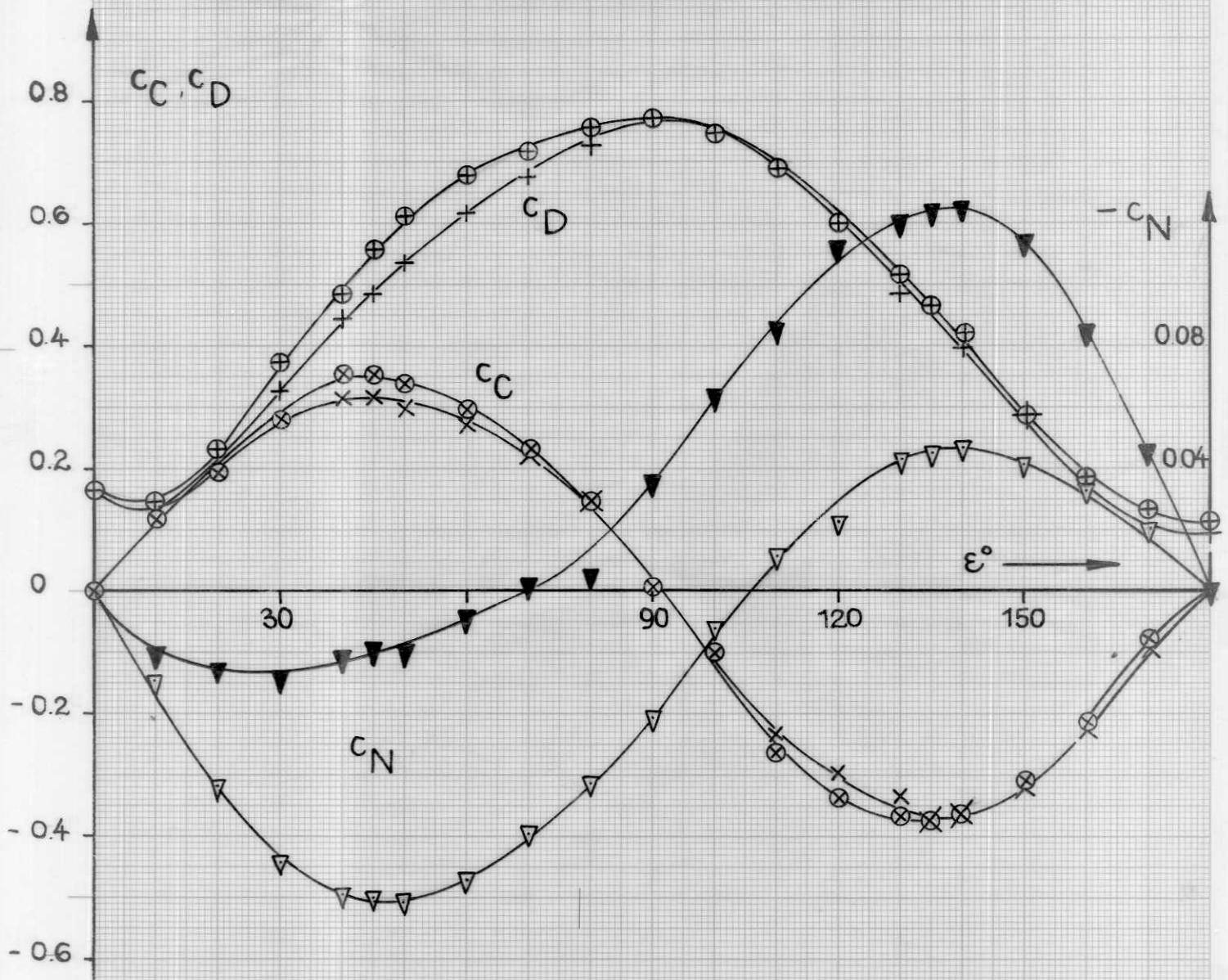
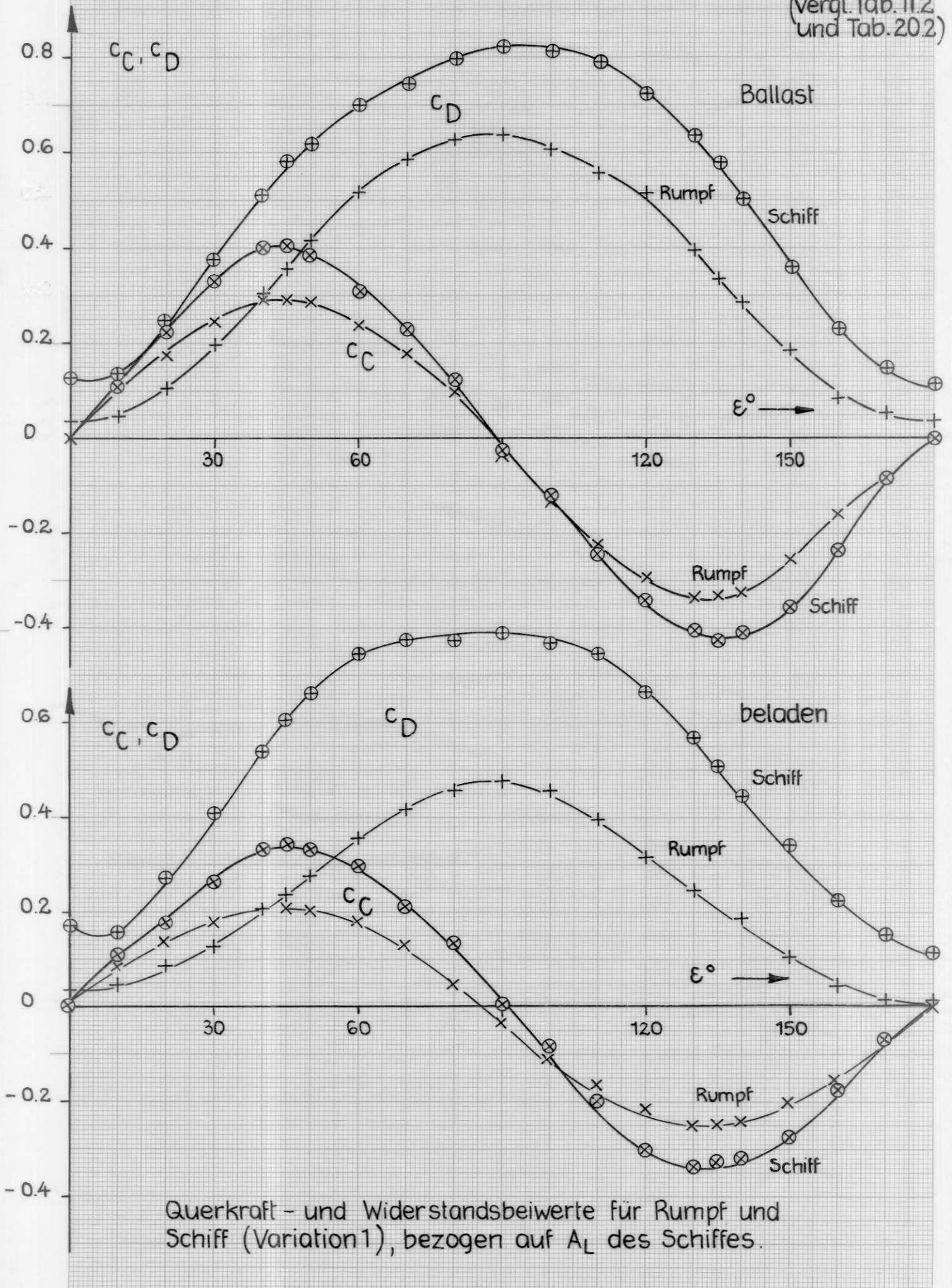


Abb. 24  
(vergl. Tab. 11.2  
und Tab. 20.2)



Querkraft - und Widerstandsbeiwerte für Rumpf und Schiff (Variation 1), bezogen auf  $A_L$  des Schiffes.

Abhängigkeit der relativen Druckpunktvorlage  
 $\frac{X_F}{L_{OA}} = f(\epsilon^\circ)$  der Aufbautenanordnung

