

153 | Februar 1966

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

B. Wagner

# Windkanalversuche mit dem Modell des Forschungsschiffes METEOR

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 153

Windkanalversuche mit dem Modell des Forschungsschiffes METEOR

von

B. Wagner

Hamburg, Februar 1966

## Windkanalversuche mit dem Modell des Forschungsschiffes METEOR

1. Einleitung
2. Übersicht über die verwendeten Symbole
3. Versuchseinrichtung
4. Modellbeschreibung
5. Versuche und Versuchsergebnisse
6. Erläuterung der Versuchsergebnisse
7. Literaturangaben

## 1. Einleitung

Für das Forschungsvorhaben "Windkräfte an Schiffen" sind eine Reihe von Modellversuchen mit unterschiedlichen Frachtschiffs- und Fahrgastschiffsmodellen sowie mit einigen Modellen von Spezialschiffen und Segelschiffen geplant. Nachträglich wurde in die Versuchsreihe ein Modell des Forschungsschiffes "Meteor" mit aufgenommen.

Wegen der aktuellen Bedeutung der Ergebnisse der Windkanalmodellversuche im Rahmen der umfangreichen Untersuchungen des Forschungsschiffes "Meteor" im Modell- und Großversuch, insbesondere zur Beurteilung der auftretenden Giermomente bei seitlichem Windeinfall, wurde dieses Modell dann als erstes im neuen Windkanal des Instituts für Schiffbau untersucht. Nachfolgend wird über diese Versuche und deren Ergebnisse berichtet.

## 2. Übersicht über die verwendeten Symbole (vergl. Fig.1)

R....resultierende Kraft,

X....Kraftkomponente in Schiffslängsrichtung (positiv nach vorn gerichtet),

Y....Kraftkomponente senkrecht zur Schiffslängsrichtung, positiv nach Steuerbord,

C....Kraftkomponente senkrecht zur Anströmrichtung (Querkraft), positiv in Anströmrichtung nach links,

D....Kraftkomponente in Anströmrichtung (Widerstand), positiv in Anströmrichtung.

N.....Moment um die Hochachse, bezogen auf Schiffsmittle (d.h.  $L_{oa}/2$  für das Überwasserschiff und  $L_{wl}/2$  für das Unterwasserschiff),

$c_R, c_X, c_Y, c_C, c_D, \dots$  dimensionslose Beiwerte der Kräfte, bezogen auf den Staudruck der Anströmgeschwindigkeit  $q$  und die Lateralfläche,

$c_N$ ....dimensionsloser Beiwert des Momentes, bezogen auf Staudruck der Anströmgeschwindigkeit  $q$ , Lateralfläche und Bezugslänge,

- $v$ .....relative Anströmgeschwindigkeit,  
 $\varrho$ .....Luftsdichte unter Versuchsbedingungen,  
 $\nu$ .....kinematische Zähigkeit der Luft unter Versuchsbedingungen,  
 $q = \frac{\varrho}{2} \cdot v^2$ .....Staudruck der Anströmgeschwindigkeit,  
 $R_n = v \cdot L / \nu$  ..Reynoldszahl,  
 $A$ .....Bezugsfläche für die dimensionslosen Beiwerte, und zwar  
für das Überwasserschiff:  
 $A_{LA}$ ...Überwasserlateralfläche,  $A_{TA}$ ... Lufthauptspantfläche,  
für das Unterwasserschiff:  
 $A_{LH}$ ...Unterwasserlateralfläche,  
 $A_S$ ....Strahlquerschnitt des Windkanals,  
 $L$ .....Bezugslänge für Momentenbeiwerte und Reynoldszahl, und  
zwar für das Überwasserschiff:  
 $L_{oa}$ ...Länge über alles von Modell bzw. Schiff,  
für das Unterwasserschiff:  
 $L_{wl}$ ...Länge in der Wasserlinie von Modell bzw. Schiff,  
 $B$ .....Breite von Modell bzw. Schiff,  
 $e$ .....Druckpunktlage, d.h. Entfernung des Schnittpunktes der  
Resultierenden mit der Schiffsebene von vorne,  
 $e/L$ ...relative Druckpunktlage,  
 $\varepsilon$ .....relative Anströmrichtung, bezogen auf die positive  
x-Richtung,  
 $\alpha$ .....Richtung der resultierenden Kraft, bezogen auf die  
positive x-Richtung.

### 3. Versuchseinrichtung (vergl. Fig. 2)

Die Versuche wurden im neuen Windkanal des Instituts für Schiff-  
baudurchgeführt. Eine genauere Beschreibung der Versuchseinrich-

tung wird später bei der Berichterstattung über die übrigen Modellversuche erfolgen.

Der Windkanalstrahl wird in der Rechteckdüse von einem Kreisquerschnitt mit 2 m Durchmesser zu einem Rechteckquerschnitt von 1,75 m Breite und 1,05 m Höhe umgeformt.

An die ~~Rechteck~~Rechteckdüse schließt unmittelbar die Bodenplatte an, die den Strahl nach unten begrenzt und fast bis an den Aufgangstrichter des Diffusors heranreicht. In die Bodenplatte ist mit 2 mm Spalt eine Drehscheibe von 1,70 m Durchmesser eingelassen. Die Drehscheibe hat in der Mitte eine Modellwanne von 1,50 m x 0,30 m mit in der Höhe verstellbarem Boden, auf dem die Modelle befestigt werden. Es ist dadurch möglich, die Modelle in unterschiedlichen Tiefgangs- und Trimmverhältnissen zu untersuchen.

Die Wanne wird nach dem Modelleinbau entsprechend der Schwimmwasserlinie des untersuchten Modellzustandes bündig mit der Drehscheibe durch entsprechende Wasserlinienschablonen abgedeckt und am Modell mit Plastilin dicht angeschlossen.

Die Drehscheibe wird durch einen dreiarmigen Konsolstern getragen und mit der elektrischen Dreikomponenten-Federgelenkwaage (3 Meßdosen je 10 kp) verbunden.

Ein Styropor-Schwimmer in einem Schwimmergefäß mit Wasser entlastet die Waage von der senkrechten Belastung durch das Gewicht von Drehscheibe und Modell.

Hinter der Drehscheibe wird der Windkanalstrahl seitlich und oben durch eine Schlitzwandstrecke vom Querschnitt der Rechteckdüse geführt.

Zwischen Drehscheibe und Bodenplatte befindet sich eine ringförmige Wasserdichtung.

Die Meßwerte der elektrischen Meßdosen (2 Widerstands- und eine Querkraftkomponente) werden auf Trägerfrequenzmeßverstärker übertragen und dort abgelesen.

#### 4. Modellbeschreibung

Das Windkanalmodell des Forschungsschiffes "Meteor" wurde im Maßstab 1:75 aus Teakholz angefertigt, Schanzkleid und Reeling in Messing ausgeführt. Die Aufbauten und Ausrüstungsteile sind abschraubbar, kleinere Ausrüstungsteile (Poller, Positionslaternen, Navigationsinstrumente) wurden weggelassen.

Einzelheiten des Modells gehen aus Fig. 3 hervor, während Fig. 4 die Linien des Modells darstellt.

Die Fotos (Fig. 6 und Fig. 7) zeigen das Überwasserschiff und das Unterwasserschiff im eingebauten Zustand auf der Bodenplatte. Das Unterwasserschiff besitzt eine Ruderatrappe und losnehmbare Schlingerkiele aus Stahlblech.

Nachfolgend die interessierenden Hauptabmessungen von Schiff und Modell:

| Forschungsschiff "Meteor"  |                 |         | Modell 1 : 75         |
|----------------------------|-----------------|---------|-----------------------|
| Länge über alles           | $L_{oa}$        | 82,00 m | 1,093 m               |
| Länge in der WL            | $L_{wl}$        | 77,30 m | 1,032 m               |
| Länge zw.d. Loten          | $L_l$           | 72,70 m | 0,970 m               |
| Breite                     | B               | 13,50 m | 0,180 m               |
| Seitenhöhe                 | H               | 7,25 m  | 0,0965 m              |
| Konstruktionstiefgang      | $T_K$           | 4,80 m  | 0,064 m               |
| Tiefgang b.Versuch         | T               | 5,00 m  | 0,0667 m              |
| Völligkeitsgrad            | $\delta$        | 0,540   |                       |
| Lateralfläche üb.Wasser    | $A_{LA}$        |         | 0,1184 m <sup>2</sup> |
| Lateralfläche unter Wasser | $A_{LB}$        |         | 0,0631 m <sup>2</sup> |
| Lufthauptspantfläche       | $A_{TA}$        |         | 0,0344 m <sup>2</sup> |
|                            | $A_{LA}/A_{TA}$ |         | 3,44                  |

Bei der Anwendung der oben beschriebenen Versuchsmethode genügt ein vollständiges Modell (Über- und Unterwasserschiff) zur Untersuchung aller gewünschten Tiefgangs- und Trimmverhältnisse des Über- und des Unterwasserschiffes.

## 5. Versuche und Versuchsergebnisse

Die Versuche wurden nur mit einem Modelltiefgang durchgeführt. Dieser Tiefgang T entspricht den Bedingungen der Erprobung des Schiffes in der Eckernförder Bucht.

Die Messung ergab die Gesamtkräfte auf Modell und Drehscheibe. Die Kräfte auf die Drehscheibe wurden getrennt ermittelt und die Meßergebnisse entsprechend korrigiert.

Der Vorkammerdruck wurde bei der Messung konstant gehalten. Die Meßwerte wurden auf den Staudruck der ungestörten Strömungsgeschwindigkeit auf Mitte Drehscheibe bezogen, der sich mit Hilfe des Düsenfaktors aus dem Vorkammerdruck errechnet.

Fig. 5 zeigt die Staudruckverteilung über Mitte Drehscheibe und 600 mm davor. Die zu erkennenden Grenzschichtdicken von 26 bzw. 16 mm entsprechen der Anlaufgrenzschicht der Bodenplatte und sind bei der vorliegenden Versuchsanordnung nicht zu vermeiden.

Die eigentliche Kanalgrenzschicht wurde - abgesehen vom Randbereich der Düse - durch Anbringen der Bodenplatte etwa 50 mm über dem Unterrand der Rechteckdüse abgeleitet. Oberhalb der Grenzschicht der Bodenplatte ist die Strömung weitestgehend homogen.

Es folgt eine tabellarische Übersicht über die durchgeführten Versuche:

| Modell            | -Bereich    | Inter-<br>vall | $v(\frac{m}{s})$ | $R_n$             | Tab. | Fig.    |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|-------------------|------|---------|
| Überwasserschiff  | Stb. 0-180° | 5°             | 18,33            | $1.30 \cdot 10^6$ | 1    | 8a u.b  |
|                   | Bb. 0-180°  | 5°             | 18,43            | $1.28 \cdot 10^6$ | 2    | 9a u.b  |
| Überwasserschiff  | Stb. 0-180° | 10° (5°)       | 25,98            | $1.84 \cdot 10^6$ | 3    | 10a u.b |
|                   | Bb. 0-180°  | 10° (5°)       | 26,01            | $1.83 \cdot 10^6$ | 4    | 11a u.b |
| Unterwasserschiff | -10+180°    | 5° u. 10°      |                  |                   |      |         |
| m.Schlengerkielen | - 2+ 12°    | 1° u. 2°       | 18,27            | $1.25 \cdot 10^6$ | 5    | 12a u.b |
| Unterwasserschiff | -10+180°    | 5° u. 10°      |                  |                   |      |         |
| m.Schlengerkielen | - 2+ 12°    | 1° u. 2°       | 25,84            | $1.76 \cdot 10^6$ | 6    | 13a u.b |
| Unterwasserschiff | -10+180°    | 5° u. 10°      |                  |                   |      |         |
| o.Schlengerkiele  | - 2+ 12°    | 1° u. 10°      | 25,84            | $1.76 \cdot 10^6$ | 7    | 14a u.b |

Die Tabellen und Bilder enthalten die Meßergebnisse in Form dimensionsloser Beiwerte. Als Vergleichswerte wurden jeweils angegeben:

$L_{oa}/B$  bzw.  $L_{wl}/B$  .....Dickenverhältnis der Modelle,

$2A_{LA}/L_{oa}^2$  bzw.  $2A_{1H}/L_{wl}^2$  .....Vergleichswert, der dem Seitenverhältnis der Modelle entspricht.

Strahlversperrung: sie betrug maximal:

$$\text{Überwasserschiff} \quad \frac{A_{LA}}{A_S} = \frac{0,1184}{1,750} = 0,0677,$$

$$\text{Unterwasserschiff} \quad \frac{A_{1H}}{A_S} = \frac{0,06305}{1,750} = 0,0360.$$

Die Meßwerte (Tab. 1 bis 7 und Fig. 8 bis 11) enthalten keine Korrekturen für den Einfluß der Strahlversperrung auf Staudruck und wirksame Schräganströmung. Aus dem in Vorbereitung befindlichen IfS-Bericht Nr. 160 (B.Wagner: Windkanalversuche mit Schiffssilhouetten und Rechteckplatten zur Prüfung des Versperrungseinflusses in einem Rechteckstrahl) geht hervor, daß dieser Einfluß bei den vorliegenden Strahlversperrungen sehr klein ist.

Der Einfluß der Bodenplatte auf den mittleren Staudruck am Modell (Strömungsgradient infolge Grenzschicht) und auf den Druckabfall hinter dem Modell wurde ebenfalls nicht korrigiert; vergl. hierzu die Ausführungen zu Punkt 6.

Für die Auswertung interessierte die Druckpunktlage für das Unterwasserschiff bei kleinen Anströmwinkeln. Deshalb erfolgte die Messung im Bereich  $\alpha = 0^\circ$  bis  $10^\circ$  gradweise. Die Meßergebnisse wurden dann gestrakt, da die Meßgenauigkeit wegen der kleinen auftretenden Kräfte bei kleinen Anströmwinkeln gering war. Durch Auswertung der gestrakten Meßwerte wurden die **angegebenen Druckpunktlagen erhalten.**

Die Strakwerte für den Bereich kleiner Anströmwinkel sind in Tabelle 8 bis 10 und Fig. 15 bis 17 enthalten.

## 6. Erläuterung der Versuchsergebnisse

### Überwasserschiff:

Wegen der asymmetrischen Aufbautenverteilung des Schiffes wurde der gesamte Bereich von  $\alpha = 0^\circ$  bis  $360^\circ$  gemessen. Dabei hatte - wie erwartet, - die Steuerbordseite mit ihrem stufenförmigen Aufbau (das Arbeitsdeck befindet sich auf der Steuerbordseite) den geringeren Widerstand.

Die Kraftbeiwerte liegen im allgemeinen niedriger als vergleichbare ältere Messungen, sie stimmen aber gut mit kürzlich veröffentlichten Modellmessungen /3/, /4/, überein, bei denen fast ausschließlich das Modell auf einer Bodenplatte, also mit dem Einfluß einer kleinen Grenzschicht, untersucht wurde.

Es erscheint wenig sinnvoll, das Modell in einer der natürlichen Windverteilung über der See entsprechenden Strömung zu untersuchen. Abgesehen von den Schwierigkeiten der Erzeugung der gewünschten Windgeschwindigkeitsverteilung und der Notwendigkeit, alle Modelle im gleichen Modellmaßstab herzustellen, würden die Versuchsergebnisse nur für ein ankerndes Schiff unmittelbar anwendbar sein. Der Gradient der Strömung,

die das Schiff trifft, hängt vielmehr von dem Verhältnis der Fahrtgeschwindigkeit (sie liefert eine gleichförmige Geschwindigkeitsverteilung) zur Windgeschwindigkeit ab. Das würde z.B. bedeuten, daß beim Forschungsschiff "Meteor" mit einer Fahrtgeschwindigkeit von ca. 14 kn bei einer Windstärke von Beaufort 4 bis 5 von vorn der Gradient bereits auf die Hälfte vermindert würde.

Bei Bedarf kann - wie von Gutsche und Schroeder vorgeschlagen /3/ - der Einfluß eines bestimmten Gradienten angenähert durch Faktoren korrigiert werden, die durch Integration der vorhandenen Staudruckverteilung von der Meeresoberfläche bis zur mittleren Modellhöhe ( $h_m = A_{LA}/L_{oa}$ ) zu ermitteln sind. Zur Überprüfung dieser angenäherten Korrekturfaktoren wären natürlich Windkanalversuche mit Schiffsmodellen in inhomogener Strömung nützlich. Ein ähnlicher Faktor könnte dazu dienen, die vorliegenden Versuchsergebnisse auf den Zustand homogener Strömung (also ohne Grenzschicht) umzurechnen.

#### Unterwasserschiff:

Im Falle des Forschungsschiffes "Meteor" interessierte besonders die Luv- und Leegierigkeit wegen der ungewöhnlichen Aufbauverteilung weit nach vorn.

Diesem Zweck diene vor allem die Untersuchung des Unterwasserschiffes. Die seitliche Windkraftkomponente  $Y$  muß (wenn keine Manövrierturhilfen wie Ruder und Bugstrahlruder benutzt werden) durch eine entgegengesetzte gleichgroße Rumpfkraft kompensiert werden, die durch Schrägstellen des Rumpfes (Abtrift) entsteht. Die dabei auftretenden Abtriftwinkel betragen etwa 2 bis 5°. Aus Fig. 15 bis 17 geht hervor, daß sich die Druckpunktlage der Rumpfkraft in diesem Winkelbereich kaum ändert.

In der weiteren Auswertung, auf die hier verzichtet werden soll, wurde das Giermoment des Schiffes für unterschiedlichen Wind-einfall ermittelt, das sich aus der seitlichen Kraftkomponente  $Y$ , multipliziert mit dem Abstand des Druckpunktes der Überwasserkraft vom Druckpunkt der Unterwasserkraft, dessen Lage in erster Näherung als konstant angenommen werden kann, ergibt.

Die Auswertung ergab für Windeinfallswinkel kleiner als  $20^\circ$  von vorn ein geringes leegieriges Moment, für Winkel  $\alpha$  größer als  $20^\circ$  ein mit wachsendem Anströmwinkel ansteigendes luvgeriges Moment. Diese Ergebnisse stimmen gut mit den Angaben der Schiffsführung der "Meteor" überein /6/.

In Wirklichkeit wird wegen der für den Gleichgewichtszustand erforderlichen Momentengleichheit das Ruder zur Querkrafterzeugung hinzugezogen werden müssen.

Der Einfluß der Schlingerkiele auf die gemessenen Unterwasserkräfte ist verhältnismäßig gering, wie aus Fig. 15-17 hervorgeht.

Die Versuche wurden bei zwei verschiedenen Reynoldszahlen durchgeführt. Während die  $c_N$ -Werte und die Druckpunktlagen  $x_{cp}$   $R_n$  - Abhängigkeiten zeigen, sind die  $c_D$ - und  $c_X$ -Werte bei der höheren Reynoldszahl deutlich niedriger.

Eine eingehendere Untersuchung des Reynoldszahl - Effektes soll bei den späteren Modellversuchen erfolgen.

## 7. Literaturangaben

Ausführliche Literaturangaben über "Windkräfte an Schiffen" enthalten folgende beiden Institutsberichte, in denen die wichtigsten durch Veröffentlichung bekannten Versuchsergebnisse mit Überwasserschiffsmodellen gesammelt und neu ausgewertet sind:

/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.

Ergänzend sei auf folgende kürzlich erschienenen Veröffentlichungen hingewiesen:

/3/ F. Gutsche u. G. Schroeder: Seitliche Luft- und Wasserkräfte bei Schräganströmung von Fahrgastschiffen und Fischereifahrzeugen. Schiffbauforschung 4. Jahrgang (1965) Heft 3/4, Seite 97.

/4/ G. Aertssen; Service-Performance and Seakeeping Trials on M.V. LUKUGA. T.R.I.N.A. 1963, Seite 297.

/5/ W.A. Paterson: Four Fast Cargo Liners. T.R.I.N.A. 1963.

Ferner sei auf die umfangreiche Behandlung der Modell- und Großversuche mit der "Meteor" vor der S.T.G. im November 1963 hingewiesen:

/6/ K. Suhrbier: Rudermessungen und Manövrierversuche mit dem Forschungsschiff "Meteor", J.S.T.G. 1965.

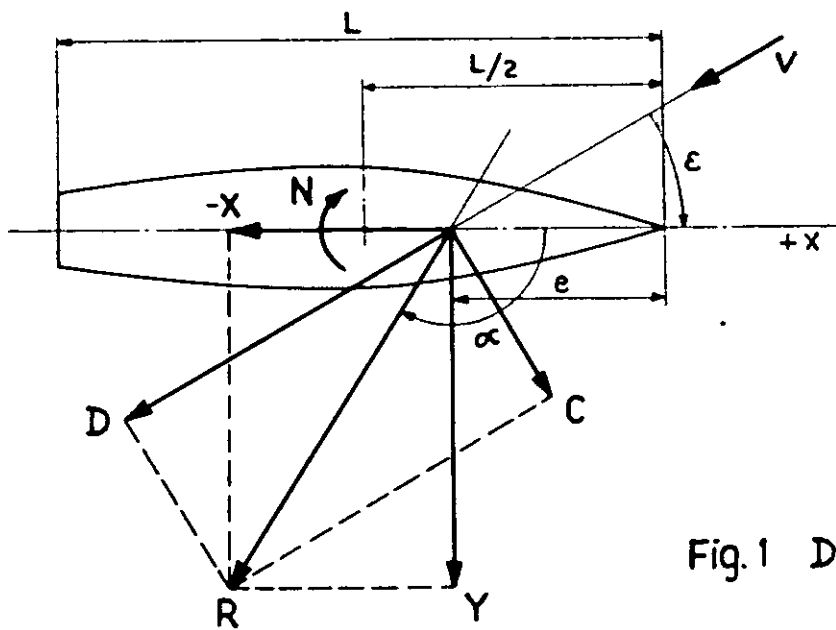


Fig. 1 Definitionsskizze

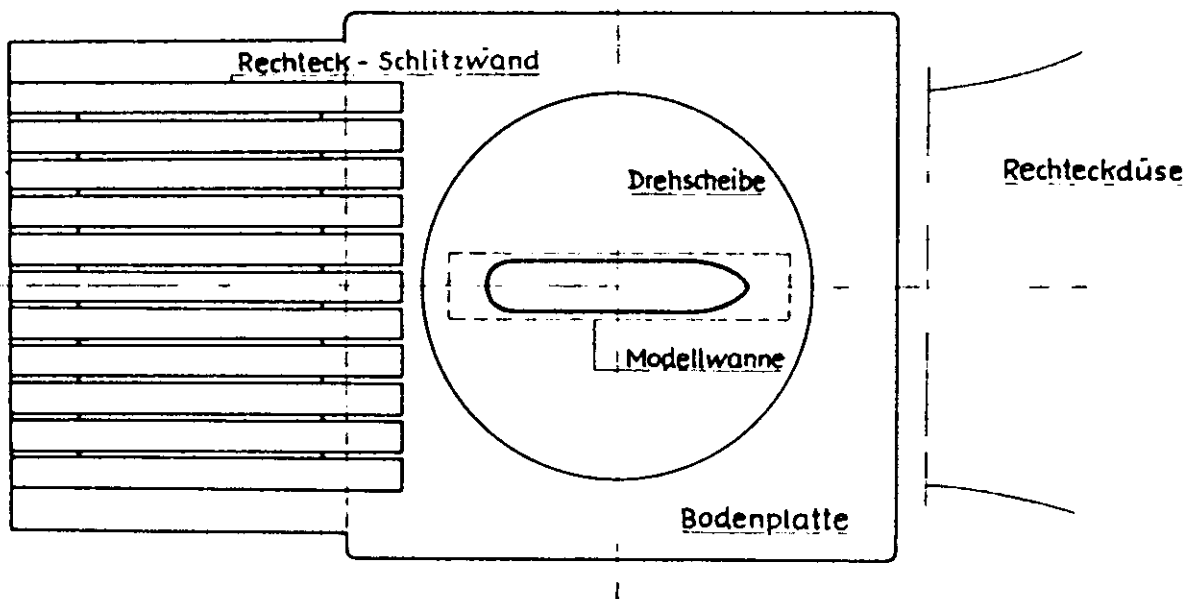
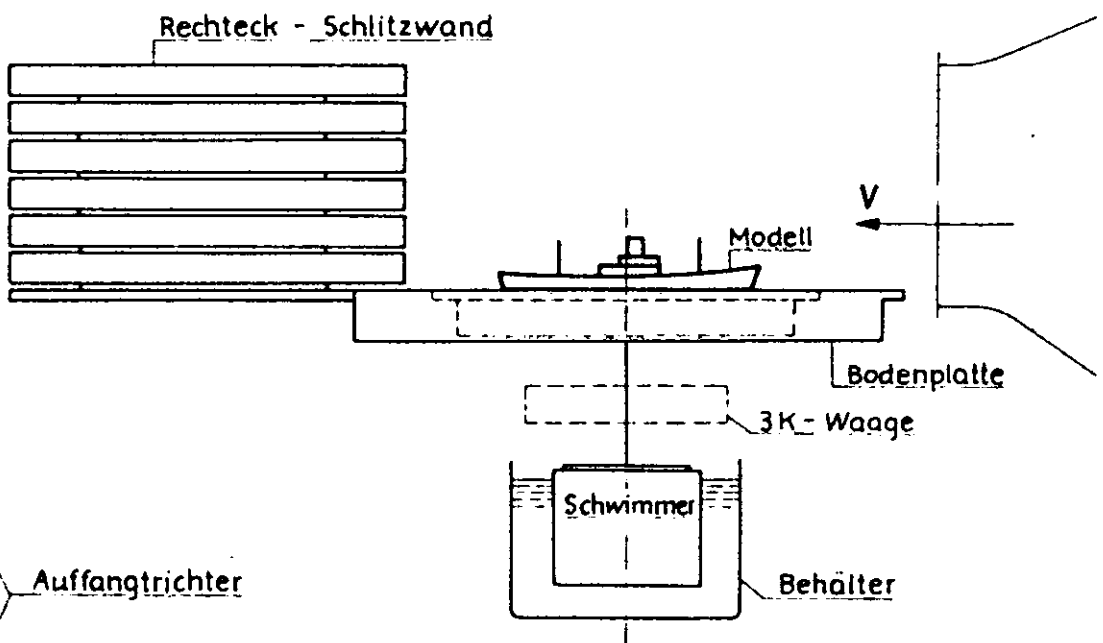
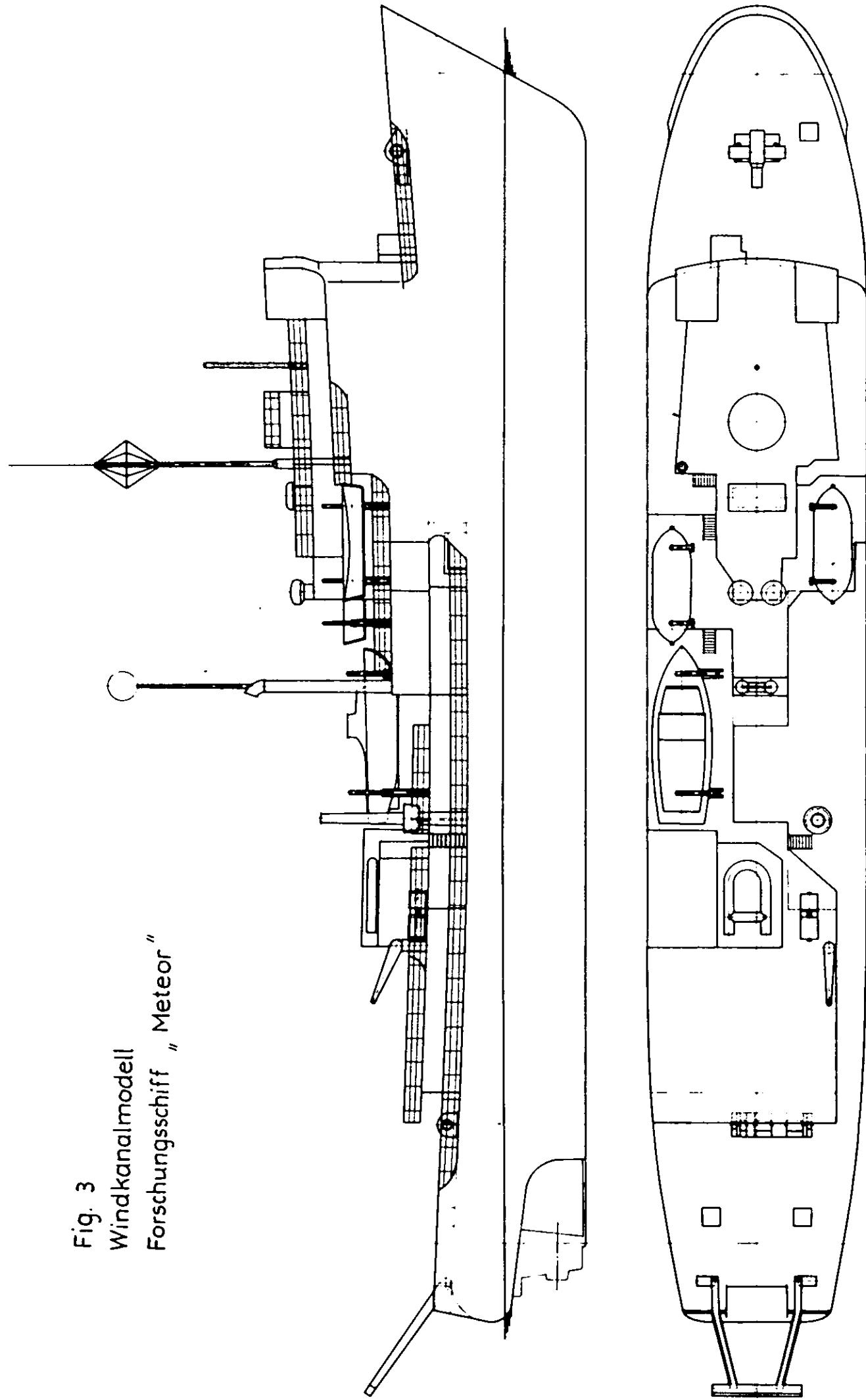


Fig. 2 Skizze der Versuchsanordnung

Fig. 3  
Windkanalmodell  
Forschungsschiff "Meteor"



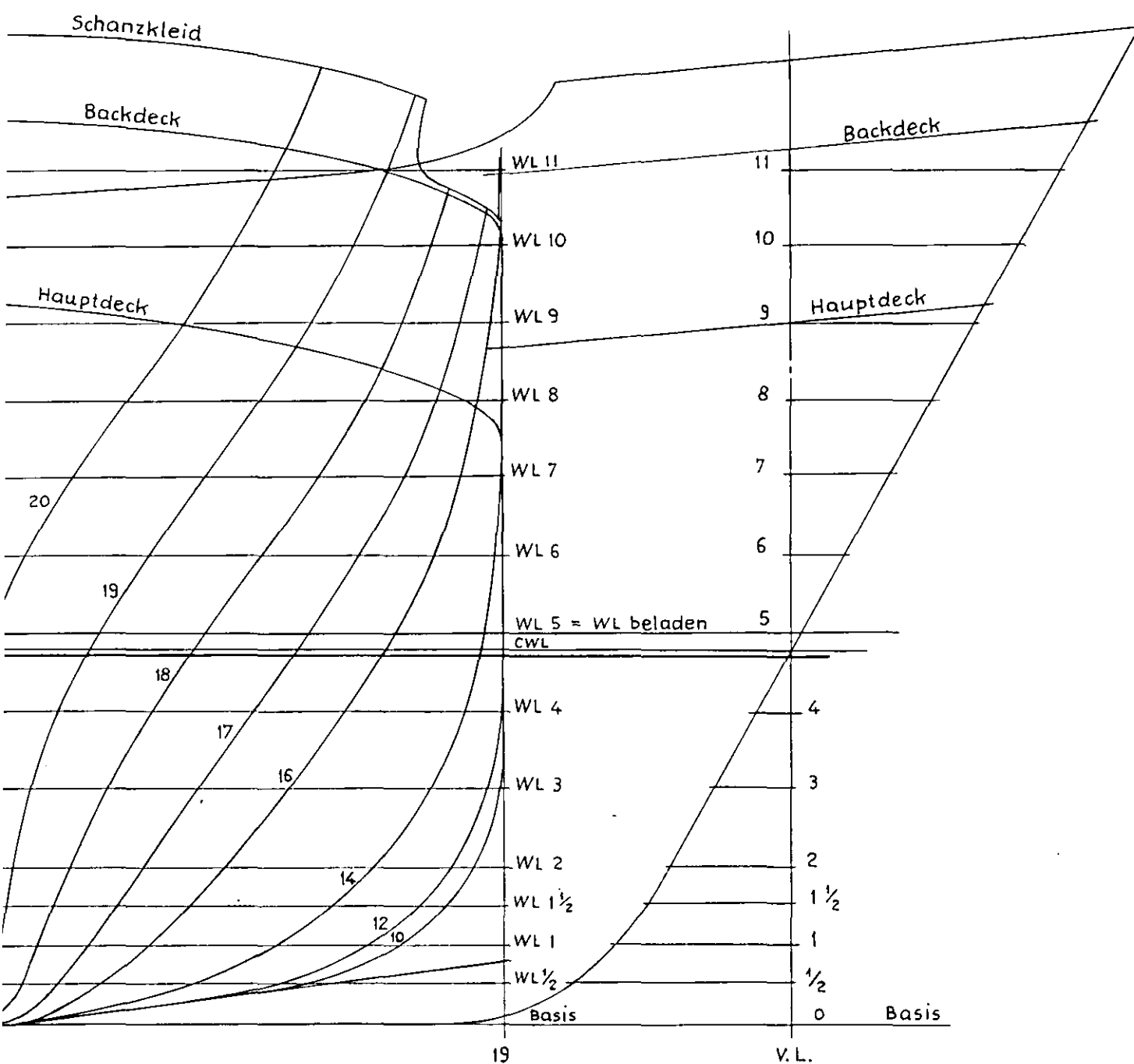


Fig. 4  
Spantriß Modell „Forschungsschiff“

$L_{WL}$  ..... 1,03 m  
 $L_L$  ..... 0,97 m  
 $B$  ..... 0,18 m  
 $H$  ..... 0,0965 m

$T_{CWL}$  ..... 0,064 m  
 $T_{bel.}$  ..... 0,0667 m  
 $\delta$  ..... 0,540

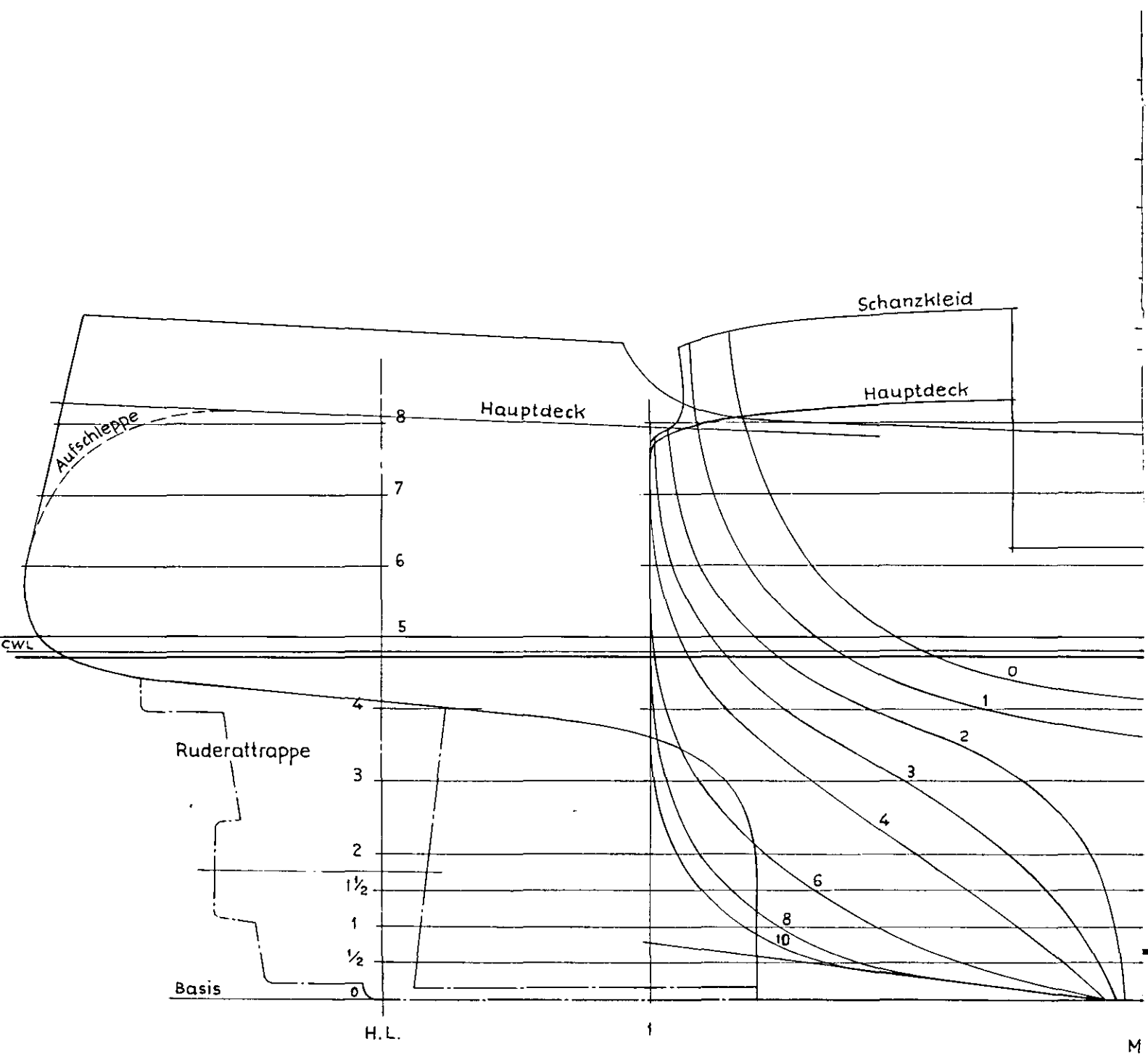


TABELLE : 1 (vergl. Fig.8a u. b)

WINDKANALMESSUNG VON SCHIFFSMODELLEN AUF DREHSCHEIBE

FORSCHUNGSSCHIFF 'METEOR', UEBERWASSERSCHIFF, STB-ANSTROMUNG,

$A_{LA} = 0.1184 \text{ M} \cdot \text{M}$      $L_{oa} = 1.0930 \text{ M}$      $V = 18.33 \text{ M/S}$      $R_n = 1.304 \cdot 10^6$   
 $2A_{LA}/L_{oa}^2 = 0,1982$      $L_{oa}/B = 6,07$

| $-\epsilon^\circ$ | $-C_C$ | $C_D$ | $C_X$  | $-C_Y$ | $C_R$ | $C_N$   | $-\alpha^\circ$ | $\theta/L$ |
|-------------------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|-----------------|------------|
| 0.0               | 0.015  | 0.245 | -0.245 | 0.015  | 0.245 | -0.0078 | 176.58          | -0.031     |
| 5.0               | 0.036  | 0.249 | -0.245 | 0.057  | 0.251 | -0.0256 | 166.87          | 0.052      |
| 10.0              | 0.067  | 0.263 | -0.248 | 0.112  | 0.272 | -0.0432 | 155.75          | 0.113      |
| 15.0              | 0.113  | 0.309 | -0.270 | 0.189  | 0.329 | -0.0587 | 144.95          | 0.190      |
| 20.0              | 0.155  | 0.362 | -0.287 | 0.269  | 0.393 | -0.0722 | 136.84          | 0.232      |
| 25.0              | 0.217  | 0.399 | -0.270 | 0.366  | 0.455 | -0.0826 | 126.43          | 0.274      |
| 30.0              | 0.249  | 0.458 | -0.272 | 0.444  | 0.521 | -0.0918 | 121.48          | 0.293      |
| 35.0              | 0.274  | 0.521 | -0.269 | 0.523  | 0.588 | -0.0952 | 117.25          | 0.318      |
| 40.0              | 0.297  | 0.577 | -0.251 | 0.598  | 0.649 | -0.0978 | 112.77          | 0.337      |
| 45.0              | 0.322  | 0.640 | -0.225 | 0.680  | 0.716 | -0.1030 | 108.28          | 0.349      |
| 50.0              | 0.326  | 0.696 | -0.198 | 0.743  | 0.769 | -0.1079 | 104.89          | 0.355      |
| 55.0              | 0.293  | 0.748 | -0.190 | 0.781  | 0.804 | -0.1059 | 103.64          | 0.364      |
| 60.0              | 0.261  | 0.780 | -0.164 | 0.806  | 0.822 | -0.1021 | 101.47          | 0.373      |
| 65.0              | 0.220  | 0.805 | -0.141 | 0.822  | 0.834 | -0.0923 | 99.74           | 0.388      |
| 70.0              | 0.188  | 0.822 | -0.104 | 0.836  | 0.843 | -0.0820 | 97.10           | 0.402      |
| 75.0              | 0.153  | 0.830 | -0.067 | 0.841  | 0.844 | -0.0739 | 94.58           | 0.412      |
| 80.0              | 0.119  | 0.838 | -0.028 | 0.846  | 0.847 | -0.0630 | 91.90           | 0.426      |
| 85.0              | 0.090  | 0.828 | 0.017  | 0.833  | 0.833 | -0.0495 | 88.81           | 0.441      |
| 90.0              | 0.031  | 0.822 | 0.031  | 0.822  | 0.822 | -0.0245 | 87.82           | 0.470      |
| 95.0              | -0.031 | 0.815 | 0.040  | 0.815  | 0.816 | -0.0092 | 87.21           | 0.489      |
| 100.0             | -0.079 | 0.836 | 0.067  | 0.837  | 0.840 | -0.0023 | 85.43           | 0.497      |
| 105.0             | -0.117 | 0.851 | 0.107  | 0.852  | 0.859 | 0.0032  | 82.84           | 0.504      |
| 110.0             | -0.163 | 0.820 | 0.127  | 0.826  | 0.836 | 0.0086  | 81.26           | 0.510      |
| 115.0             | -0.215 | 0.815 | 0.149  | 0.830  | 0.843 | 0.0138  | 79.80           | 0.517      |
| 120.0             | -0.274 | 0.799 | 0.162  | 0.829  | 0.844 | 0.0196  | 78.94           | 0.524      |
| 125.0             | -0.301 | 0.769 | 0.195  | 0.803  | 0.826 | 0.0219  | 76.38           | 0.527      |
| 130.0             | -0.320 | 0.728 | 0.223  | 0.763  | 0.795 | 0.0242  | 73.74           | 0.532      |
| 135.0             | -0.339 | 0.682 | 0.242  | 0.721  | 0.761 | 0.0293  | 71.43           | 0.541      |
| 140.0             | -0.332 | 0.623 | 0.264  | 0.655  | 0.706 | 0.0351  | 68.09           | 0.554      |
| 145.0             | -0.318 | 0.558 | 0.275  | 0.580  | 0.642 | 0.0342  | 64.66           | 0.559      |
| 150.0             | -0.286 | 0.504 | 0.293  | 0.500  | 0.580 | 0.0337  | 59.62           | 0.567      |
| 155.0             | -0.247 | 0.437 | 0.292  | 0.408  | 0.502 | 0.0308  | 54.46           | 0.575      |
| 160.0             | -0.190 | 0.389 | 0.300  | 0.312  | 0.433 | 0.0265  | 46.08           | 0.585      |
| 165.0             | -0.146 | 0.357 | 0.307  | 0.234  | 0.386 | 0.0198  | 37.27           | 0.585      |
| 170.0             | -0.092 | 0.316 | 0.295  | 0.145  | 0.329 | 0.0129  | 26.25           | 0.589      |
| 175.0             | -0.044 | 0.263 | 0.259  | 0.067  | 0.267 | 0.0081  | 14.47           | 0.621      |
| 180.0             | 0.000  | 0.234 | 0.234  | 0.000  | 0.234 | 0.0012  | 0.00            | 93.834     |

TABELLE : 2 (vergl. Fig. 9a u. b)

WINDKANALMESSUNG VON SCHIFFSMODELLEN AUF DREHSCHLEIBE

FORSCHUNGSSCHIFF 'METEOR', UEBERWASSERSCHIFF, BB-ANSTROMUNG,

$A_{LA} = 0.1184 \text{ m}^2$   $L_{oa} = 1.0930 \text{ m}$   $V = 18.43 \text{ m/s}$   $R_n = 1.264 \cdot 10^6$   
 $2A_{LA}/L_{oa}^2 = 0.1982$   $L_{oa}/B = 6.07$

| $\epsilon^\circ$ | $C_C$  | $C_D$ | $C_X$  | $C_Y$  | $C_R$ | $-C_N$  | $\alpha^\circ$ | $B/L$ |
|------------------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|----------------|-------|
| 0.8              | -0.015 | 0.240 | -0.240 | -0.015 | 0.241 | 0.0049  | 183.48         | 0.166 |
| 5.0              | 0.038  | 0.253 | -0.249 | 0.060  | 0.256 | -0.0158 | 166.54         | 0.234 |
| 10.0             | 0.071  | 0.284 | -0.268 | 0.119  | 0.293 | -0.0339 | 155.96         | 0.216 |
| 15.0             | 0.136  | 0.320 | -0.274 | 0.214  | 0.348 | -0.0515 | 141.98         | 0.259 |
| 20.0             | 0.207  | 0.374 | -0.281 | 0.322  | 0.428 | -0.0676 | 131.05         | 0.290 |
| 25.0             | 0.261  | 0.422 | -0.272 | 0.415  | 0.497 | -0.0817 | 123.25         | 0.303 |
| 30.0             | 0.309  | 0.493 | -0.273 | 0.515  | 0.582 | -0.0955 | 117.90         | 0.314 |
| 35.0             | 0.320  | 0.539 | -0.258 | 0.571  | 0.627 | -0.0995 | 114.33         | 0.326 |
| 40.0             | 0.326  | 0.608 | -0.256 | 0.641  | 0.690 | -0.1027 | 111.80         | 0.340 |
| 45.0             | 0.330  | 0.661 | -0.234 | 0.701  | 0.739 | -0.1064 | 108.43         | 0.348 |
| 50.0             | 0.347  | 0.723 | -0.199 | 0.777  | 0.802 | -0.1145 | 104.37         | 0.353 |
| 55.0             | 0.341  | 0.763 | -0.159 | 0.821  | 0.836 | -0.1177 | 100.93         | 0.357 |
| 60.0             | 0.311  | 0.807 | -0.134 | 0.855  | 0.865 | -0.1105 | 98.89          | 0.371 |
| 65.0             | 0.289  | 0.840 | -0.094 | 0.884  | 0.889 | -0.1001 | 96.05          | 0.387 |
| 70.0             | 0.199  | 0.897 | -0.120 | 0.911  | 0.919 | -0.0797 | 97.51          | 0.413 |
| 75.0             | 0.130  | 0.901 | -0.108 | 0.904  | 0.910 | -0.0711 | 96.81          | 0.421 |
| 80.0             | 0.084  | 0.899 | -0.074 | 0.900  | 0.903 | -0.0621 | 94.68          | 0.431 |
| 85.0             | 0.040  | 0.882 | -0.037 | 0.882  | 0.883 | -0.0452 | 92.42          | 0.451 |
| 90.0             | -0.023 | 0.886 | -0.023 | 0.886  | 0.887 | -0.0293 | 91.48          | 0.467 |
| 95.0             | -0.094 | 0.888 | -0.016 | 0.893  | 0.893 | -0.0124 | 91.04          | 0.486 |
| 100.0            | -0.151 | 0.886 | 0.006  | 0.899  | 0.899 | -0.0023 | 89.65          | 0.497 |
| 105.0            | -0.188 | 0.870 | 0.043  | 0.889  | 0.890 | 0.0086  | 87.22          | 0.510 |
| 110.0            | -0.217 | 0.834 | 0.081  | 0.858  | 0.862 | 0.0204  | 84.62          | 0.524 |
| 115.0            | -0.270 | 0.826 | 0.105  | 0.862  | 0.869 | 0.0279  | 83.09          | 0.532 |
| 120.0            | -0.328 | 0.803 | 0.117  | 0.859  | 0.867 | 0.0316  | 82.25          | 0.537 |
| 125.0            | -0.372 | 0.778 | 0.141  | 0.850  | 0.862 | 0.0305  | 80.58          | 0.536 |
| 130.0            | -0.380 | 0.723 | 0.173  | 0.799  | 0.817 | 0.0276  | 77.75          | 0.535 |
| 135.0            | -0.395 | 0.663 | 0.189  | 0.748  | 0.772 | 0.0256  | 75.81          | 0.534 |
| 140.0            | -0.395 | 0.598 | 0.204  | 0.687  | 0.717 | 0.0242  | 73.47          | 0.539 |
| 145.0            | -0.362 | 0.544 | 0.238  | 0.608  | 0.653 | 0.0230  | 68.65          | 0.538 |
| 150.0            | -0.305 | 0.481 | 0.264  | 0.505  | 0.570 | 0.0253  | 62.41          | 0.550 |
| 155.0            | -0.259 | 0.420 | 0.271  | 0.413  | 0.494 | 0.0239  | 56.68          | 0.558 |
| 160.0            | -0.205 | 0.372 | 0.280  | 0.320  | 0.425 | 0.0213  | 48.84          | 0.567 |
| 165.0            | -0.144 | 0.330 | 0.282  | 0.225  | 0.360 | 0.0161  | 38.60          | 0.572 |
| 170.0            | -0.086 | 0.295 | 0.275  | 0.136  | 0.307 | 0.0118  | 26.22          | 0.587 |
| 175.0            | -0.031 | 0.257 | 0.253  | 0.054  | 0.259 | 0.0060  | 11.96          | 0.613 |
| 180.0            | 0.004  | 0.236 | 0.236  | -0.004 | 0.236 | -0.0014 | -1.01          | 0.845 |

TABELLE : 5 (vergl. Fig. 12a u. b)

WINDKANALMESSUNG VON SCHIFFSMODELLEN AUF DREHSCHLEIBE

FORSCHUNGSSCHIFF 'METEOR', UNTERWASSERSCHIFF MIT SCHLINGERKIELEN,

$A = 0.0631 \text{ m}^2$   $L_{WL} = 1.0320 \text{ m}$   $V = 18.27 \text{ m/s}$   $R_n = 1.245 \cdot 10^6$

$2A_{LH}/L_{WL}^2 = 0.1183$ ,  $L_{WL}/B = 5.74$

| $\epsilon^\circ$ | $C_C$  | $C_D$ | $C_X$  | $C_Y$  | $C_R$ | $-C_N$  | $\alpha^\circ$ | $e/L$ |
|------------------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|----------------|-------|
| -10.0            | -0.051 | 0.039 | -0.030 | -0.057 | 0.064 | 0.0141  | 242.44         | 0.253 |
| -5.0             | -0.024 | 0.031 | -0.029 | -0.026 | 0.039 | 0.0076  | 221.87         | 0.211 |
| -2.0             | -0.008 | 0.031 | -0.031 | -0.009 | 0.032 | 0.0037  | 196.04         | 0.090 |
| 0.0              | 0.008  | 0.012 | -0.012 | 0.008  | 0.014 | 0.0004  | 146.31         | 0.546 |
| 1.0              | 0.008  | 0.016 | -0.016 | 0.008  | 0.018 | -0.0014 | 152.43         | 0.333 |
| 2.0              | 0.008  | 0.016 | -0.015 | 0.008  | 0.018 | -0.0037 | 151.43         | 0.064 |
| 3.0              | 0.016  | 0.012 | -0.011 | 0.016  | 0.020 | -0.0056 | 123.87         | 0.157 |
| 4.0              | 0.024  | 0.016 | -0.014 | 0.025  | 0.028 | -0.0075 | 119.69         | 0.194 |
| 5.0              | 0.024  | 0.016 | -0.014 | 0.025  | 0.028 | -0.0087 | 118.69         | 0.151 |
| 6.0              | 0.031  | 0.012 | -0.008 | 0.032  | 0.034 | -0.0094 | 104.55         | 0.209 |
| 7.0              | 0.043  | 0.016 | -0.010 | 0.045  | 0.046 | -0.0115 | 102.98         | 0.243 |
| 8.0              | 0.047  | 0.016 | -0.009 | 0.049  | 0.050 | -0.0127 | 100.43         | 0.239 |
| 9.0              | 0.051  | 0.016 | -0.008 | 0.053  | 0.053 | -0.0128 | 98.10          | 0.257 |
| 10.0             | 0.059  | 0.024 | -0.013 | 0.062  | 0.063 | -0.0142 | 101.80         | 0.271 |
| 12.0             | 0.079  | 0.024 | -0.007 | 0.082  | 0.082 | -0.0182 | 94.69          | 0.277 |
| 15.0             | 0.106  | 0.039 | -0.010 | 0.113  | 0.113 | -0.0282 | 95.32          | 0.250 |
| 20.0             | 0.153  | 0.079 | -0.021 | 0.171  | 0.172 | -0.0389 | 97.14          | 0.272 |
| 30.0             | 0.263  | 0.188 | -0.032 | 0.322  | 0.324 | -0.0601 | 95.61          | 0.313 |
| 40.0             | 0.349  | 0.330 | -0.028 | 0.480  | 0.480 | -0.0848 | 93.34          | 0.323 |
| 50.0             | 0.353  | 0.455 | -0.022 | 0.576  | 0.576 | -0.0851 | 92.19          | 0.352 |
| 60.0             | 0.310  | 0.573 | -0.018 | 0.651  | 0.652 | -0.0768 | 91.58          | 0.382 |
| 70.0             | 0.181  | 0.581 | -0.029 | 0.608  | 0.608 | -0.0310 | 92.73          | 0.449 |
| 80.0             | 0.086  | 0.609 | -0.021 | 0.614  | 0.615 | -0.0078 | 91.92          | 0.487 |
| 90.0             | -0.004 | 0.616 | -0.004 | 0.616  | 0.616 | 0.0048  | 90.36          | 0.508 |
| 100.0            | -0.102 | 0.601 | 0.004  | 0.609  | 0.609 | 0.0210  | 89.65          | 0.534 |
| 110.0            | -0.228 | 0.589 | -0.013 | 0.631  | 0.631 | 0.0427  | 91.14          | 0.568 |
| 120.0            | -0.342 | 0.530 | -0.031 | 0.630  | 0.631 | 0.0616  | 92.80          | 0.598 |
| 130.0            | -0.381 | 0.459 | 0.004  | 0.597  | 0.597 | 0.0648  | 89.67          | 0.609 |
| 140.0            | -0.357 | 0.326 | 0.020  | 0.483  | 0.484 | 0.0507  | 87.64          | 0.605 |
| 150.0            | -0.251 | 0.185 | 0.034  | 0.310  | 0.312 | 0.0358  | 83.72          | 0.616 |
| 160.0            | -0.161 | 0.106 | 0.045  | 0.188  | 0.193 | 0.0253  | 76.64          | 0.635 |
| 170.0            | -0.035 | 0.047 | 0.040  | 0.043  | 0.059 | 0.0195  | 46.88          | 0.953 |
| 180.0            | -0.012 | 0.016 | 0.016  | 0.012  | 0.020 | -0.0015 | 36.88          | 0.376 |

TABELLE : 6 (vergl. Fig. 13a u. b)

WINDKANALMESSUNG VON SCHIFFSMODELLEN AUF DREHSCHLEIBE

FORSCHUNGSSCHIFF 'METEOR', UNTERWASSERSCHIFF MIT SCHLINGERKIELEN,

$A = 0.0631 \text{ m}^2$   $L = 1.0320 \text{ m}$   $V = 25.84 \text{ m/s}$   $R_n = 1.760 \cdot 10^6$   
 $2A_{LH}/L_{WL}^2 = 0.1183$ ,  $L_{WL}/B = 5.74$

| $\varepsilon^\circ$ | $C_C$  | $C_D$ | $C_X$  | $C_Y$  | $C_R$ | $-C_N$  | $\alpha^\circ$ | $e/L$ |
|---------------------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|----------------|-------|
| -10.0               | -0.051 | 0.029 | -0.020 | -0.055 | 0.059 | 0.0115  | 250.02         | 0.293 |
| -5.0                | -0.020 | 0.016 | -0.014 | -0.021 | 0.025 | 0.0057  | 236.34         | 0.227 |
| -4.0                | -0.024 | 0.024 | -0.022 | -0.025 | 0.033 | 0.0035  | 229.00         | 0.360 |
| -3.0                | -0.012 | 0.031 | -0.031 | -0.013 | 0.034 | 0.0021  | 203.56         | 0.345 |
| -2.0                | -0.012 | 0.016 | -0.015 | -0.012 | 0.020 | 0.0009  | 218.87         | 0.427 |
| -1.0                | -0.004 | 0.012 | -0.012 | -0.004 | 0.012 | -0.0005 | 199.44         | 0.612 |
| 0.0                 | 0.006  | 0.006 | -0.006 | 0.006  | 0.008 | -0.0004 | 135.00         | 0.425 |
| 1.0                 | 0.010  | 0.002 | -0.002 | 0.010  | 0.010 | -0.0023 | 100.30         | 0.270 |
| 2.0                 | 0.012  | 0.000 | 0.000  | 0.012  | 0.012 | -0.0037 | 88.01          | 0.182 |
| 3.0                 | 0.014  | 0.006 | -0.005 | 0.014  | 0.015 | -0.0052 | 110.19         | 0.127 |
| 4.0                 | 0.024  | 0.018 | -0.016 | 0.025  | 0.029 | -0.0072 | 122.87         | 0.207 |
| 5.0                 | 0.029  | 0.008 | -0.005 | 0.030  | 0.030 | -0.0082 | 99.93          | 0.226 |
| 6.0                 | 0.031  | 0.010 | -0.006 | 0.032  | 0.033 | -0.0092 | 101.35         | 0.216 |
| 7.0                 | 0.035  | 0.008 | -0.003 | 0.036  | 0.036 | -0.0101 | 95.52          | 0.219 |
| 8.0                 | 0.039  | 0.018 | -0.012 | 0.041  | 0.043 | -0.0117 | 106.22         | 0.217 |
| 9.0                 | 0.047  | 0.018 | -0.010 | 0.049  | 0.050 | -0.0142 | 101.55         | 0.212 |
| 10.0                | 0.053  | 0.020 | -0.010 | 0.056  | 0.057 | -0.0152 | 100.32         | 0.226 |
| 12.0                | 0.075  | 0.027 | -0.011 | 0.079  | 0.079 | -0.0187 | 98.22          | 0.263 |
| 15.0                | 0.088  | 0.041 | -0.017 | 0.096  | 0.097 | -0.0252 | 100.01         | 0.238 |
| 20.0                | 0.151  | 0.071 | -0.015 | 0.166  | 0.167 | -0.0410 | 95.05          | 0.253 |
| 30.0                | 0.269  | 0.175 | -0.017 | 0.320  | 0.321 | -0.0620 | 93.00          | 0.306 |
| 40.0                | 0.345  | 0.312 | -0.017 | 0.465  | 0.466 | -0.0865 | 92.09          | 0.314 |
| 50.0                | 0.342  | 0.438 | -0.020 | 0.555  | 0.555 | -0.0848 | 92.03          | 0.347 |
| 60.0                | 0.308  | 0.567 | -0.017 | 0.645  | 0.646 | -0.0792 | 91.48          | 0.377 |
| 70.0                | 0.179  | 0.567 | -0.026 | 0.594  | 0.595 | -0.0321 | 92.52          | 0.446 |
| 80.0                | 0.079  | 0.593 | -0.026 | 0.597  | 0.598 | -0.0096 | 92.45          | 0.484 |
| 90.0                | -0.012 | 0.610 | -0.012 | 0.610  | 0.611 | 0.0001  | 91.10          | 0.500 |
| 100.0               | -0.079 | 0.593 | 0.026  | 0.597  | 0.598 | 0.0161  | 87.55          | 0.527 |
| 110.0               | -0.228 | 0.575 | -0.017 | 0.618  | 0.619 | 0.0393  | 91.59          | 0.564 |
| 120.0               | -0.340 | 0.536 | -0.026 | 0.634  | 0.634 | 0.0589  | 92.36          | 0.593 |
| 130.0               | -0.389 | 0.448 | -0.010 | 0.593  | 0.593 | 0.0609  | 90.97          | 0.603 |
| 140.0               | -0.357 | 0.310 | 0.008  | 0.473  | 0.473 | 0.0492  | 89.05          | 0.604 |
| 150.0               | -0.255 | 0.183 | 0.030  | 0.312  | 0.314 | 0.0332  | 84.43          | 0.606 |
| 160.0               | -0.161 | 0.094 | 0.033  | 0.183  | 0.187 | 0.0254  | 79.67          | 0.639 |
| 170.0               | -0.075 | 0.037 | 0.024  | 0.080  | 0.083 | 0.0165  | 73.44          | 0.706 |
| 180.0               | -0.006 | 0.022 | 0.022  | 0.006  | 0.022 | -0.0004 | 15.26          | 0.425 |

TABELLE : 7 (vergl. Fig. 14a u. b)

WINDKANALMESSUNG VON SCHIFFSMODELLEN AUF DREHSCHLEIBE

FORSCHUNGSSCHIFF 'METEOR', UNTERWASSERSCHIFF OHNE SCHLINGERKIELE,

$A_{LH} = 0.0631 \text{ m}^2$      $L_{WL} = 1.0320 \text{ m}$      $V = 25.84 \text{ m/s}$      $R_n = 1.760 \cdot 10^6$

$2A_{LH}/L_{WL}^2 = 0,1183$ ,  $L_{WL}/B = 5,74$

| $\epsilon^\circ$ | $C_C$  | $C_D$ | $C_X$  | $C_Y$  | $C_R$ | $-C_N$  | $\alpha^\circ$ | $B/L$ |
|------------------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|----------------|-------|
| -10.0            | -0.043 | 0.035 | -0.027 | -0.049 | 0.056 | 0.0110  | 240.71         | 0.274 |
| -5.0             | -0.022 | 0.020 | -0.018 | -0.023 | 0.029 | 0.0063  | 232.73         | 0.227 |
| -2.0             | -0.006 | 0.012 | -0.012 | -0.006 | 0.013 | 0.0013  | 208.57         | 0.292 |
| 0.0              | 0.004  | 0.008 | -0.008 | 0.004  | 0.009 | -0.0012 | 153.43         | 0.182 |
| 2.0              | 0.014  | 0.010 | -0.009 | 0.014  | 0.017 | -0.0035 | 123.53         | 0.250 |
| 4.0              | 0.020  | 0.012 | -0.010 | 0.020  | 0.023 | -0.0068 | 116.96         | 0.165 |
| 6.0              | 0.027  | 0.016 | -0.013 | 0.029  | 0.032 | -0.0099 | 113.74         | 0.157 |
| 8.0              | 0.041  | 0.018 | -0.012 | 0.043  | 0.045 | -0.0129 | 105.19         | 0.202 |
| 10.0             | 0.049  | 0.020 | -0.011 | 0.052  | 0.053 | -0.0151 | 101.80         | 0.208 |
| 12.0             | 0.069  | 0.026 | -0.011 | 0.073  | 0.073 | -0.0177 | 98.37          | 0.256 |
| 15.0             | 0.098  | 0.043 | -0.016 | 0.106  | 0.107 | -0.0240 | 98.74          | 0.274 |
| 20.0             | 0.159  | 0.069 | -0.010 | 0.173  | 0.173 | -0.0381 | 93.36          | 0.280 |
| 30.0             | 0.275  | 0.179 | -0.017 | 0.327  | 0.328 | -0.0593 | 93.02          | 0.319 |
| 40.0             | 0.345  | 0.318 | -0.022 | 0.469  | 0.470 | -0.0840 | 92.62          | 0.321 |
| 50.0             | 0.334  | 0.430 | -0.021 | 0.544  | 0.544 | -0.0811 | 92.17          | 0.351 |
| 60.0             | 0.304  | 0.556 | -0.014 | 0.633  | 0.633 | -0.0726 | 91.28          | 0.385 |
| 70.0             | 0.171  | 0.563 | -0.032 | 0.588  | 0.589 | -0.0279 | 93.13          | 0.452 |
| 80.0             | 0.057  | 0.607 | -0.049 | 0.607  | 0.609 | -0.0101 | 94.63          | 0.483 |
| 90.0             | -0.012 | 0.601 | -0.012 | 0.601  | 0.601 | 0.0035  | 91.12          | 0.506 |
| 100.0            | -0.112 | 0.593 | -0.007 | 0.603  | 0.603 | 0.0183  | 90.68          | 0.530 |
| 110.0            | -0.218 | 0.583 | -0.005 | 0.622  | 0.622 | 0.0381  | 90.49          | 0.561 |
| 120.0            | -0.336 | 0.536 | -0.023 | 0.632  | 0.632 | 0.0579  | 92.06          | 0.592 |
| 130.0            | -0.385 | 0.444 | -0.010 | 0.587  | 0.587 | 0.0593  | 90.93          | 0.601 |
| 140.0            | -0.347 | 0.318 | 0.020  | 0.471  | 0.471 | 0.0493  | 87.54          | 0.605 |
| 150.0            | -0.251 | 0.186 | 0.036  | 0.311  | 0.313 | 0.0338  | 83.43          | 0.609 |
| 160.0            | -0.157 | 0.092 | 0.033  | 0.179  | 0.182 | 0.0253  | 79.57          | 0.641 |
| 170.0            | -0.071 | 0.033 | 0.021  | 0.075  | 0.078 | 0.0172  | 74.73          | 0.728 |
| 180.0            | -0.014 | 0.012 | 0.012  | 0.014  | 0.018 | -0.0009 | 49.41          | 0.432 |

TABELLE : 8 (vergl. Fig. 15)

WINDKANALMESSUNG VON SCHIFFSMODELLEN AUF DREHSCHLEIBE

FO-SCHIFF 'METEOR', UNTERWASSERSCHIFF MIT SCHLINGERKIELEN, STRAKWERTE,

$A_{LH} = 0.0631 \text{ m}^2$      $L_{WL} = 1.0320 \text{ m}$      $V = 18.27 \text{ m/s}$      $R_n = 1.245 \cdot 10^6$

$2A_{LH}/L_{WL}^2 = 0.1183$      $L_{WL}/B = 5.74$

| $\epsilon^\circ$ | $C_C$  | $C_D$ | $C_X$  | $C_Y$  | $C_R$ | $-C_N$  | $\alpha^\circ$ | $e/L$ |
|------------------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|----------------|-------|
| -10.0            | -0.051 | 0.039 | -0.030 | -0.057 | 0.064 | 0.0141  | 242.44         | 0.253 |
| -5.0             | -0.024 | 0.031 | -0.029 | -0.026 | 0.039 | 0.0076  | 221.87         | 0.211 |
| -2.0             | -0.009 | 0.026 | -0.026 | -0.010 | 0.028 | 0.0034  | 201.98         | 0.174 |
| 0.0              | 0.000  | 0.020 | -0.020 | 0.000  | 0.020 | 0.0000  | 180.00         |       |
| 1.0              | 0.005  | 0.018 | -0.018 | 0.005  | 0.019 | -0.0016 | 164.38         | 0.177 |
| 2.0              | 0.009  | 0.015 | -0.015 | 0.010  | 0.018 | -0.0036 | 145.72         | 0.139 |
| 3.0              | 0.015  | 0.014 | -0.013 | 0.016  | 0.021 | -0.0052 | 130.45         | 0.166 |
| 4.0              | 0.020  | 0.014 | -0.013 | 0.021  | 0.025 | -0.0070 | 120.69         | 0.173 |
| 5.0              | 0.026  | 0.014 | -0.012 | 0.027  | 0.030 | -0.0085 | 113.61         | 0.186 |
| 6.0              | 0.031  | 0.015 | -0.012 | 0.033  | 0.035 | -0.0099 | 109.40         | 0.198 |
| 7.0              | 0.038  | 0.015 | -0.010 | 0.039  | 0.041 | -0.0112 | 104.59         | 0.214 |
| 8.0              | 0.045  | 0.016 | -0.009 | 0.047  | 0.047 | -0.0125 | 101.33         | 0.232 |
| 9.0              | 0.052  | 0.017 | -0.009 | 0.054  | 0.055 | -0.0136 | 99.43          | 0.248 |
| 10.0             | 0.060  | 0.018 | -0.007 | 0.062  | 0.062 | -0.0150 | 96.83          | 0.257 |
| 12.0             | 0.077  | 0.026 | -0.009 | 0.081  | 0.081 | -0.0187 | 96.60          | 0.268 |
| 15.0             | 0.107  | 0.050 | -0.021 | 0.116  | 0.118 | -0.0267 | 100.20         | 0.270 |
| 20.0             | 0.153  | 0.079 | -0.021 | 0.171  | 0.172 | -0.0389 | 97.14          | 0.272 |

TABELLE : 9 (vergl. Fig. 16)

WINDKANALMESSUNG VON SCHIFFSMODELLEN AUF DREHSCHEIBE

FO-SCHIFF 'METEOR', UNTERWASSERSCHIFF MIT SCHLINGERKIELEN, STRAKWERTE,

$A_{LH} = 0.0631 \text{ M} \cdot \text{M}$      $L_{WL} = 1.0320 \text{ M}$      $V = 25.84 \text{ M/S}$      $R_n = 1.760 \cdot 10^6$

$2A_{LH}/L_{WL}^2 = 0.1183$ ,  $L_{WL}/B = 5.74$

| $\epsilon^\circ$ | $C_C$  | $C_D$ | $C_X$  | $C_Y$  | $C_R$ | $-C_N$  | $\alpha^\circ$ | $B/L$ |
|------------------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|----------------|-------|
| -10.0            | -0.051 | 0.029 | -0.020 | -0.055 | 0.059 | 0.0115  | 250.02         | 0.293 |
| -5.0             | -0.026 | 0.018 | -0.015 | -0.027 | 0.031 | 0.0058  | 240.31         | 0.285 |
| -2.0             | -0.010 | 0.014 | -0.013 | -0.010 | 0.017 | 0.0023  | 217.54         | 0.279 |
| 0.0              | 0.000  | 0.012 | -0.012 | 0.000  | 0.012 | 0.0000  | 180.00         |       |
| 1.0              | 0.006  | 0.010 | -0.010 | 0.006  | 0.012 | -0.0020 | 147.39         | 0.190 |
| 2.0              | 0.011  | 0.009 | -0.009 | 0.011  | 0.014 | -0.0036 | 128.42         | 0.174 |
| 3.0              | 0.016  | 0.008 | -0.007 | 0.016  | 0.018 | -0.0052 | 114.69         | 0.179 |
| 4.0              | 0.020  | 0.009 | -0.007 | 0.021  | 0.022 | -0.0066 | 109.33         | 0.179 |
| 5.0              | 0.024  | 0.009 | -0.007 | 0.025  | 0.026 | -0.0079 | 105.35         | 0.183 |
| 6.0              | 0.029  | 0.011 | -0.007 | 0.030  | 0.031 | -0.0092 | 103.79         | 0.197 |
| 7.0              | 0.035  | 0.012 | -0.007 | 0.036  | 0.036 | -0.0107 | 101.82         | 0.201 |
| 8.0              | 0.039  | 0.013 | -0.008 | 0.041  | 0.041 | -0.0120 | 100.77         | 0.207 |
| 9.0              | 0.045  | 0.016 | -0.008 | 0.047  | 0.048 | -0.0134 | 100.17         | 0.216 |
| 10.0             | 0.051  | 0.018 | -0.009 | 0.054  | 0.055 | -0.0149 | 99.34          | 0.222 |
| 12.0             | 0.065  | 0.026 | -0.012 | 0.069  | 0.070 | -0.0186 | 99.97          | 0.231 |
| 15.0             | 0.090  | 0.039 | -0.014 | 0.097  | 0.098 | -0.0252 | 98.28          | 0.241 |
| 20.0             | 0.151  | 0.071 | -0.015 | 0.166  | 0.167 | -0.0410 | 95.05          | 0.253 |

TABELLE : 10 (vergl. Fig. 17)

WINDKANALMESSUNG VON SCHIFFSMODELLEN AUF DREHSCHEIBE

FO-SCHIFF 'METEOR', UNTERWASSERSCHIFF OHNE SCHLINGERKIELE. STRAKWERTE.

$A = 0.0631 \text{ M}^2$   $L = 1.0320 \text{ M}$   $V = 25.84 \text{ M/S}$   $R_n = 1.760 \cdot 10^6$   
 $L_H$   $L_{WL}$

$2A_{LH}/L_{WL}^2 = 0,1183, L_{WL}/B = 5,74$

| $\epsilon^\circ$ | $C_C$  | $C_D$ | $C_X$  | $C_Y$  | $C_R$ | $-C_N$  | $\alpha^\circ$ | $\theta/L$ |
|------------------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|----------------|------------|
| -10,0            | -0.043 | 0.035 | -0.027 | -0.049 | 0.056 | 0.0110  | 240,71         | 0,274      |
| -5,0             | -0.022 | 0.021 | -0.019 | -0.024 | 0.030 | 0.0062  | 231,58         | 0,239      |
| -2,0             | -0.009 | 0.016 | -0.015 | -0.010 | 0.018 | 0.0025  | 211,90         | 0,234      |
| 0,0              | 0.000  | 0.012 | -0.012 | 0.000  | 0.012 | 0.0000  | 180,00         |            |
| 1,0              | 0.004  | 0.012 | -0.012 | 0.005  | 0.013 | -0.0015 | 158,86         | 0,170      |
| 2,0              | 0.009  | 0.011 | -0.011 | 0.009  | 0.015 | -0.0032 | 139,58         | 0,164      |
| 3,0              | 0.014  | 0.013 | -0.012 | 0.014  | 0.019 | -0.0048 | 129,43         | 0,163      |
| 4,0              | 0.018  | 0.014 | -0.012 | 0.019  | 0.023 | -0.0065 | 122,67         | 0,163      |
| 5,0              | 0.024  | 0.015 | -0.012 | 0.025  | 0.028 | -0.0082 | 116,66         | 0,170      |
| 6,0              | 0.029  | 0.015 | -0.012 | 0.030  | 0.032 | -0.0098 | 111,49         | 0,173      |
| 7,0              | 0.034  | 0.016 | -0.012 | 0.036  | 0.038 | -0.0112 | 109,02         | 0,183      |
| 8,0              | 0.039  | 0.018 | -0.012 | 0.041  | 0.043 | -0.0127 | 106,70         | 0,194      |
| 9,0              | 0.046  | 0.019 | -0.012 | 0.048  | 0.049 | -0.0139 | 103,89         | 0,210      |
| 10,0             | 0.052  | 0.020 | -0.010 | 0.055  | 0.056 | -0.0152 | 100,60         | 0,223      |
| 12,0             | 0.069  | 0.026 | -0.011 | 0.073  | 0.074 | -0.0181 | 98,94          | 0,251      |
| 15,0             | 0.098  | 0.042 | -0.015 | 0.106  | 0.107 | -0.0238 | 98,17          | 0,275      |
| 20,0             | 0.159  | 0.069 | -0.010 | 0.173  | 0.173 | -0.0381 | 93,36          | 0,280      |

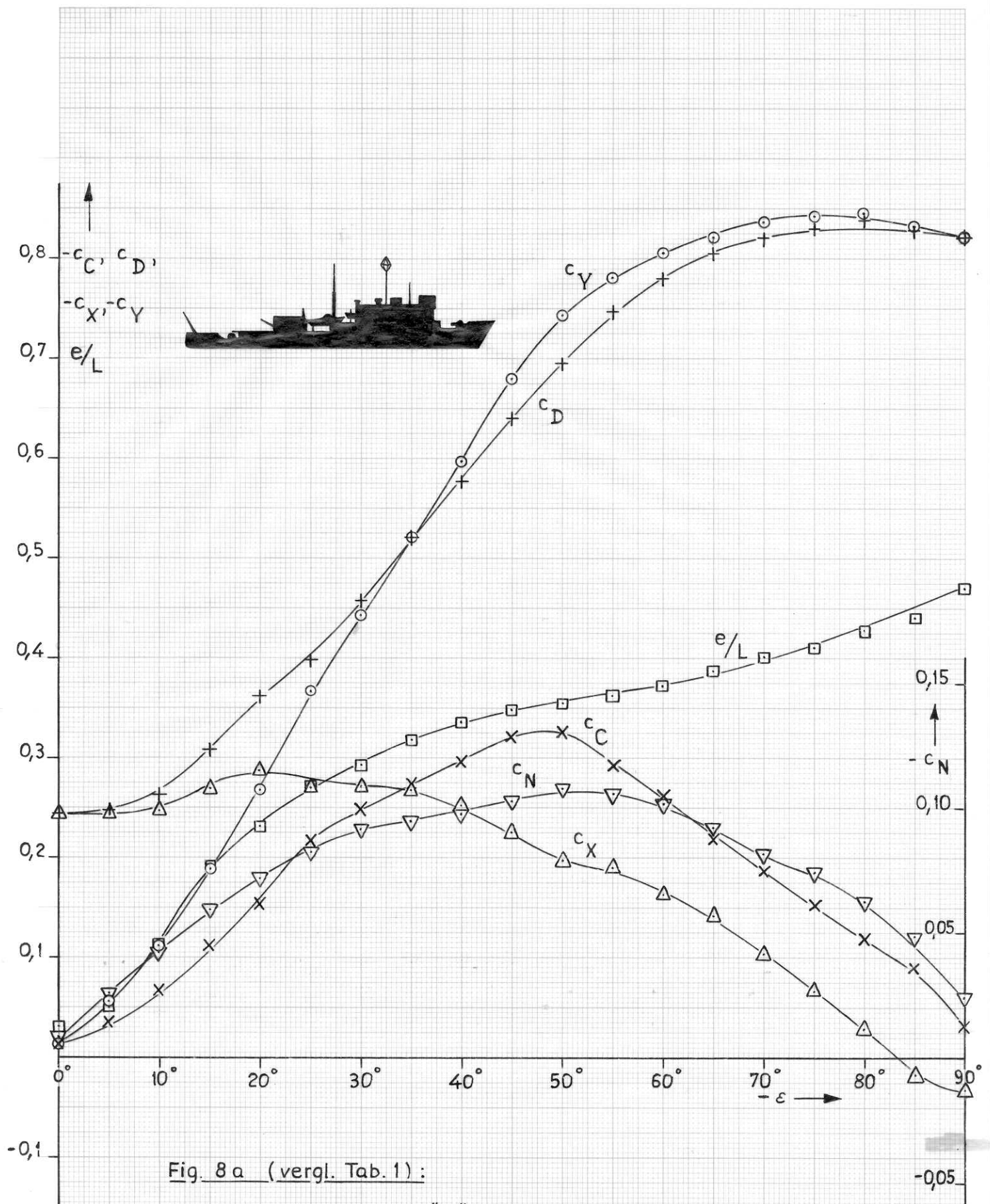


Fig. 8 a (vergl. Tab. 1):

Forschungsschiff „Meteor“ Überwasserschiff  
Kraft- und Momentenbeiwerte bei Steuerbordanströmung

$$\frac{2A_{LA}}{L_{oa}^2} = 0,1982; \quad \frac{L_{oa}}{B} = 6,07; \quad R_n = 1,304 \cdot 10^6$$

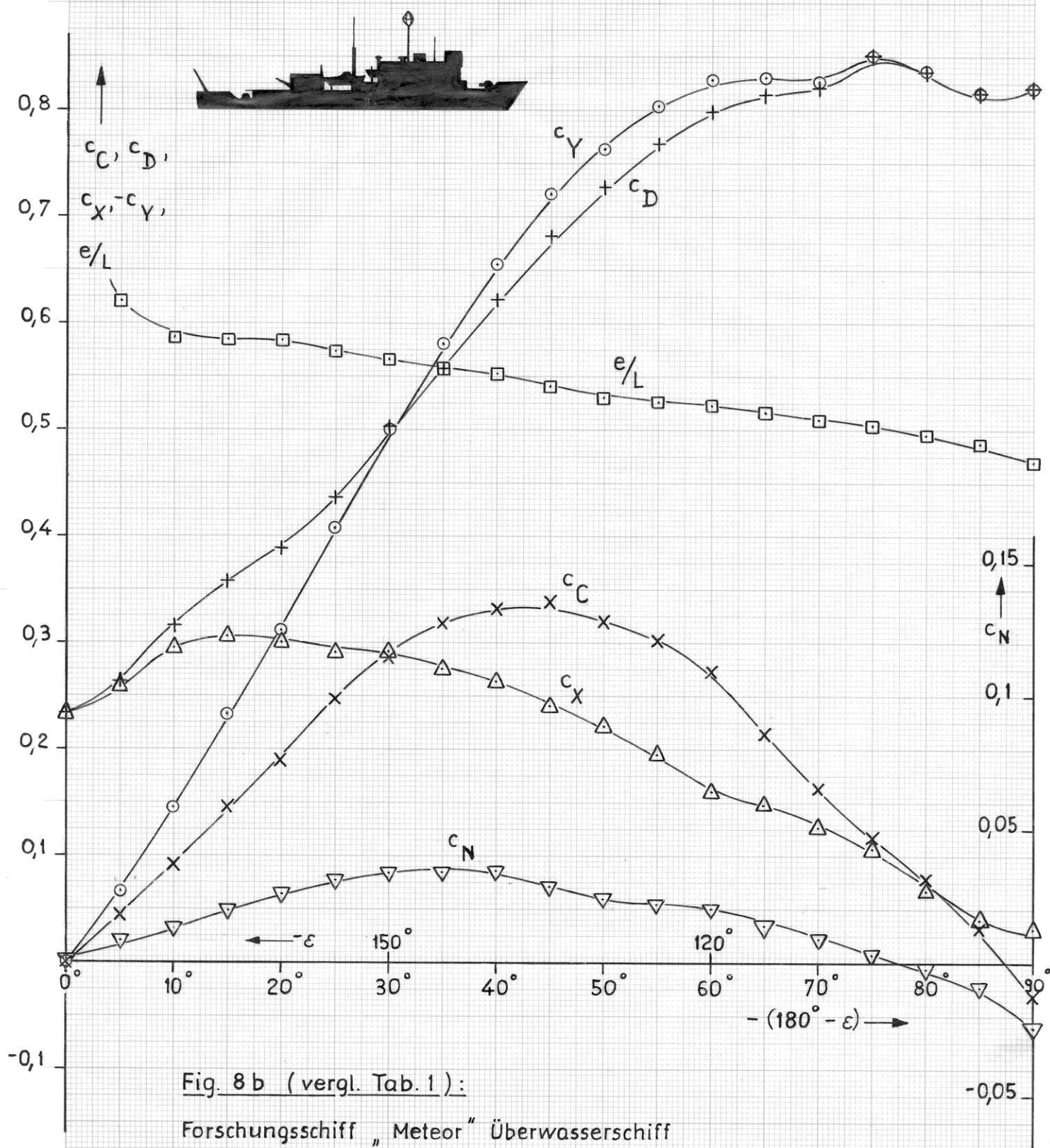


Fig. 8 b (vergl. Tab. 1):

Forschungsschiff „Meteor“ Überwasserschiff  
Kraft- und Momentenbeiwerte bei Steuerbordanströmung  
achterl. Anströmbereich

$$\frac{2 A_{LA}}{L_{oa}} = 0,1982; \quad \frac{L_{oa}}{B} = 6,07; \quad R_n = 1,304 \cdot 10^6$$

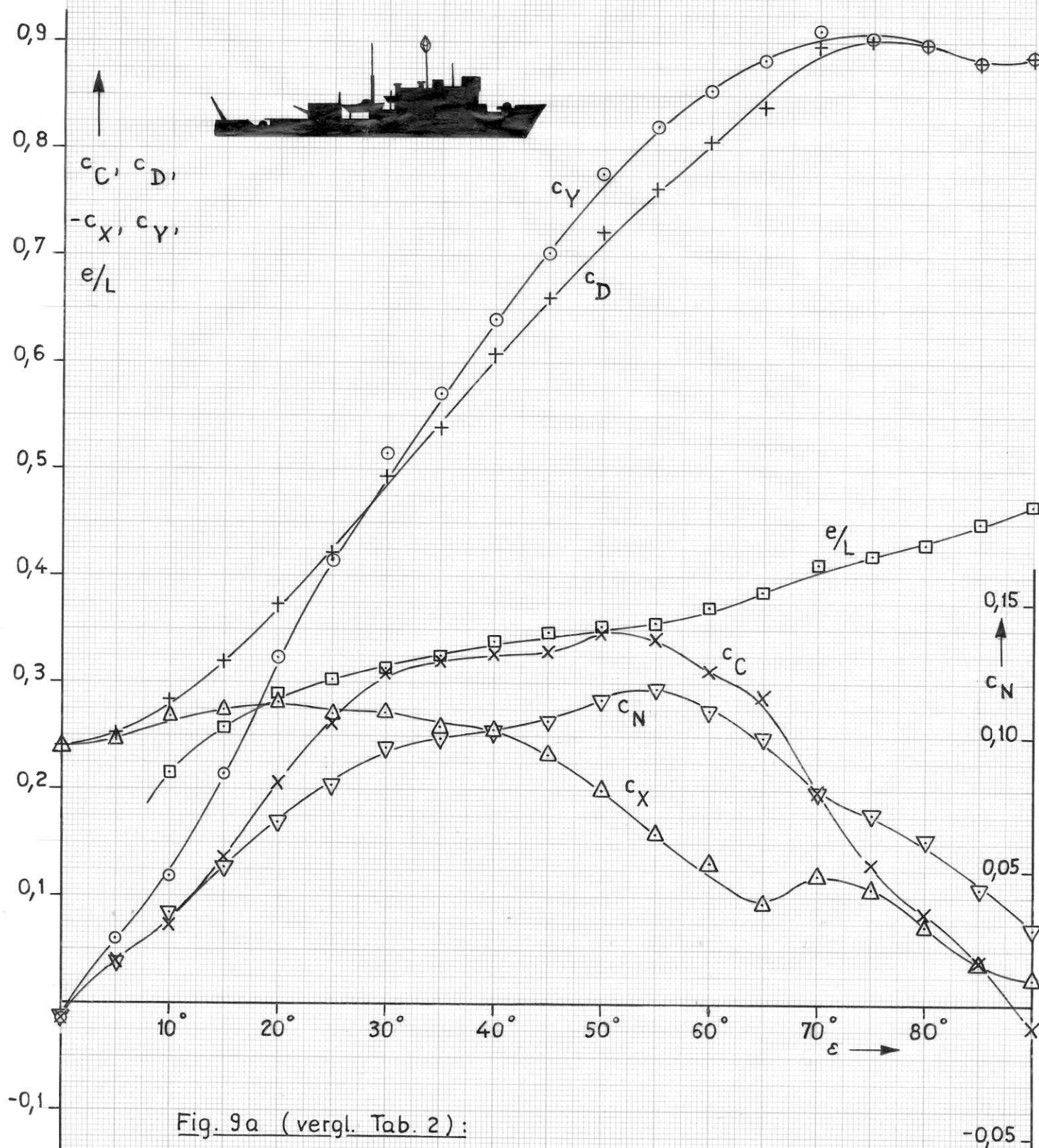


Fig. 9a (vergl. Tab. 2):

Forschungsschiff „Meteor“ Überwasserschiff  
Kraft- und Momentenbeiwerte bei Backbordanströmung

$$\frac{2A_{LA}}{L_{oa}^2} = 0,1982; \quad \frac{L_{oa}}{B} = 6,07; \quad R_n = 1,284 \cdot 10^6$$

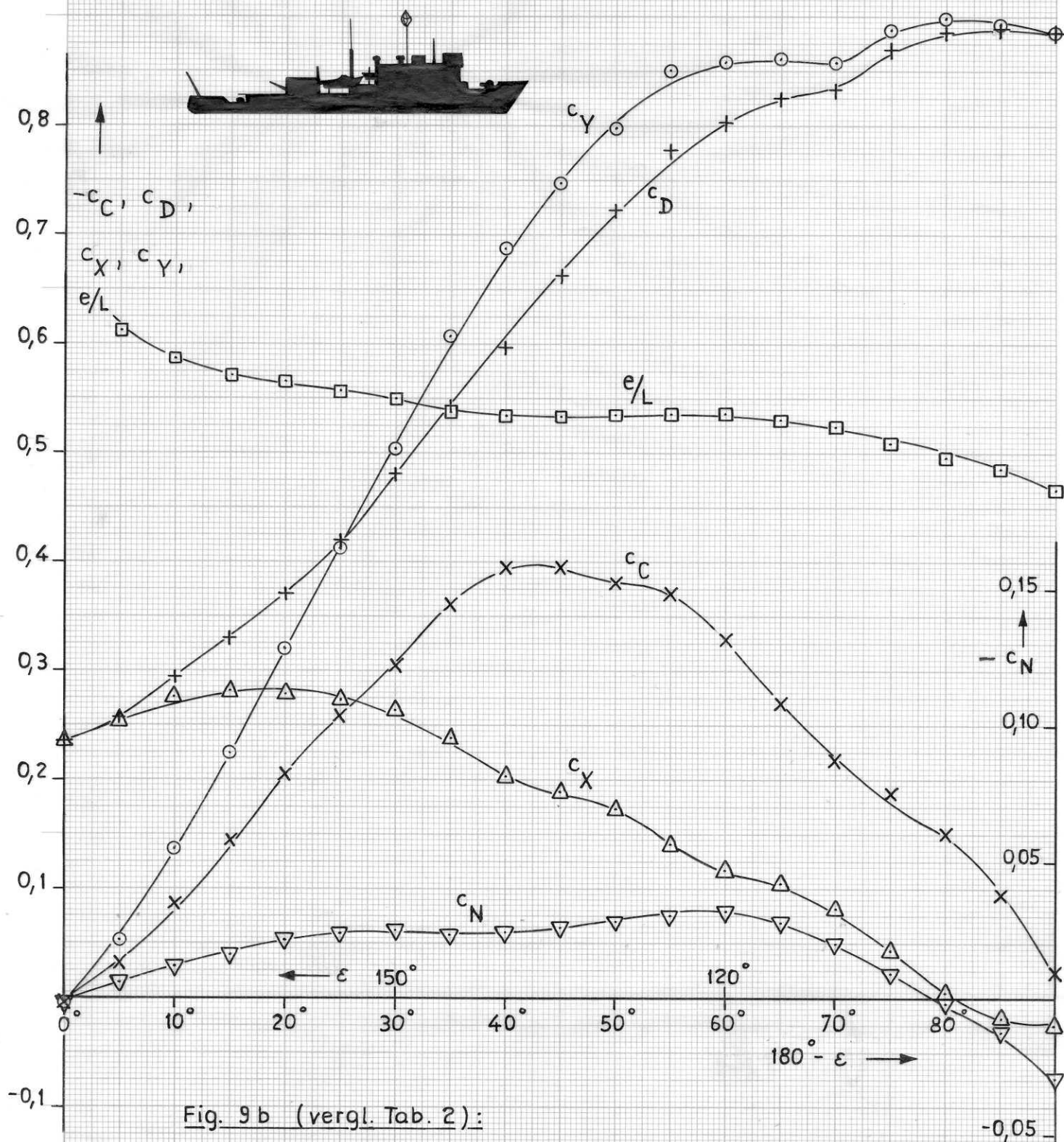


Fig. 9 b (vergl. Tab. 2):

Forschungsschiff „Meteor“ Überwasserschiff  
Kraft- und Momentenbeiwerte bei Backbordanströmung  
achterl. Anströmbereich

$$\frac{2A_{LA}}{L_{oa}^2} = 0,1982; \quad \frac{L_{oa}}{B} = 6,07; \quad R_n = 1,284 \cdot 10^6$$

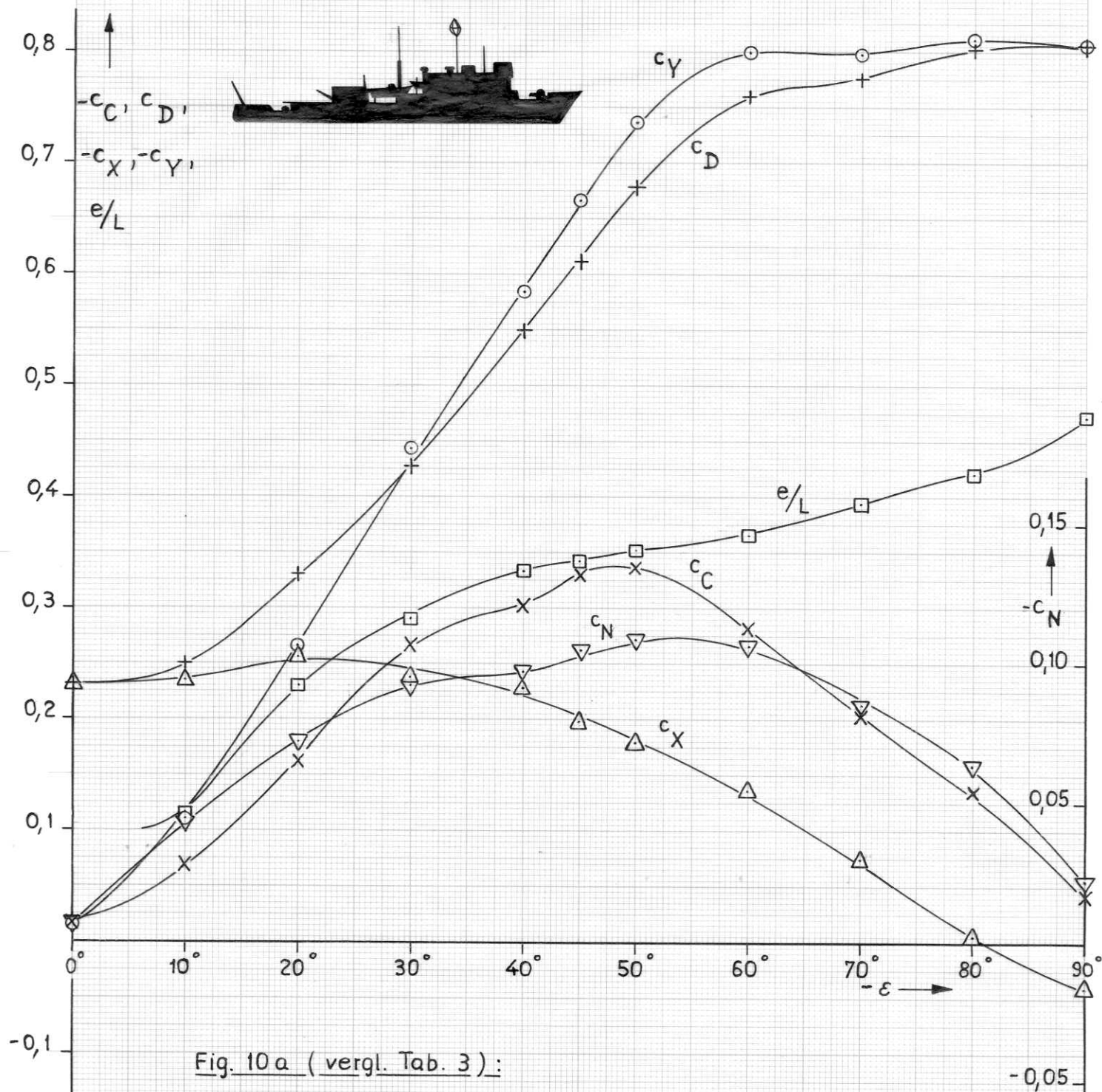
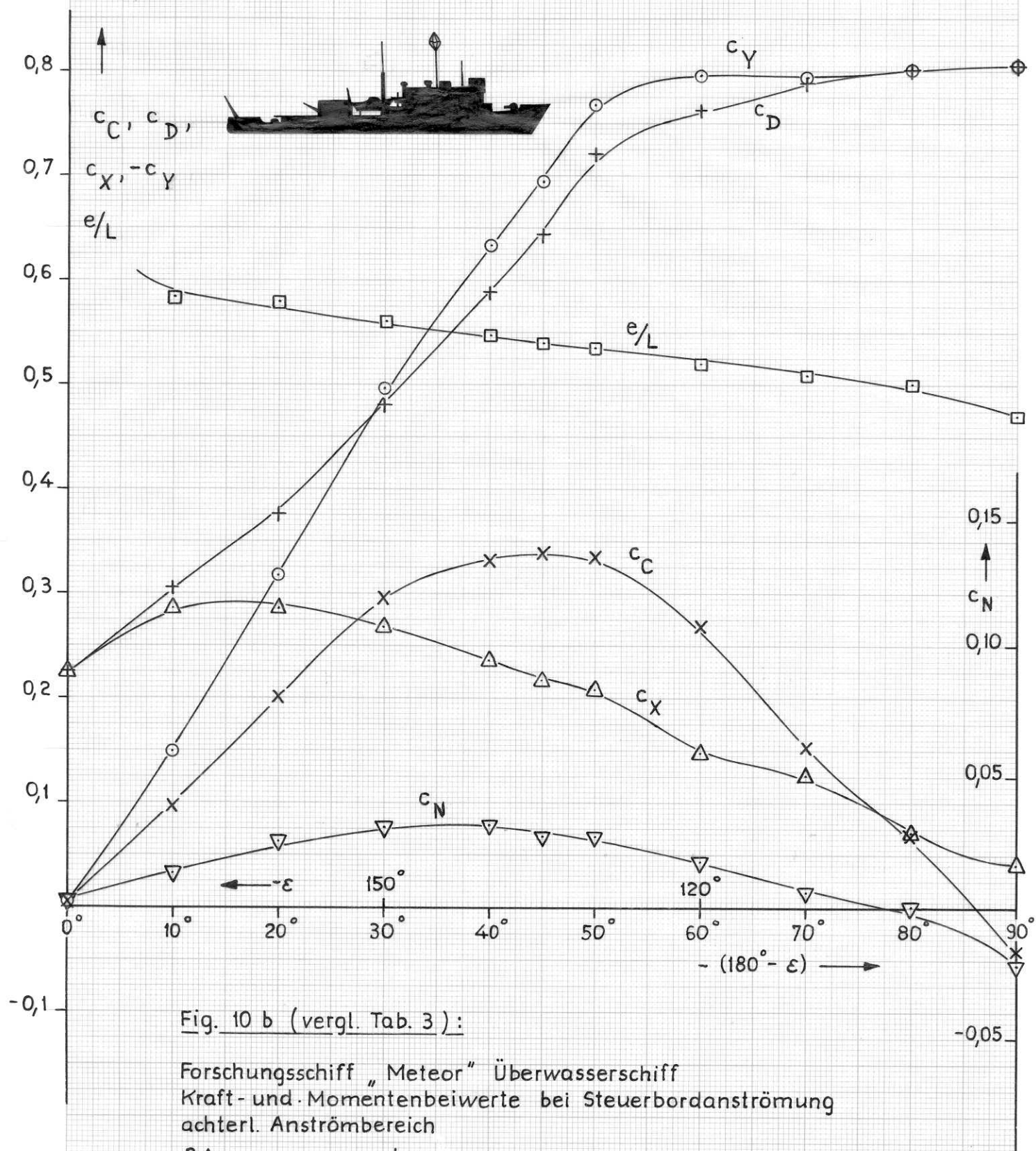
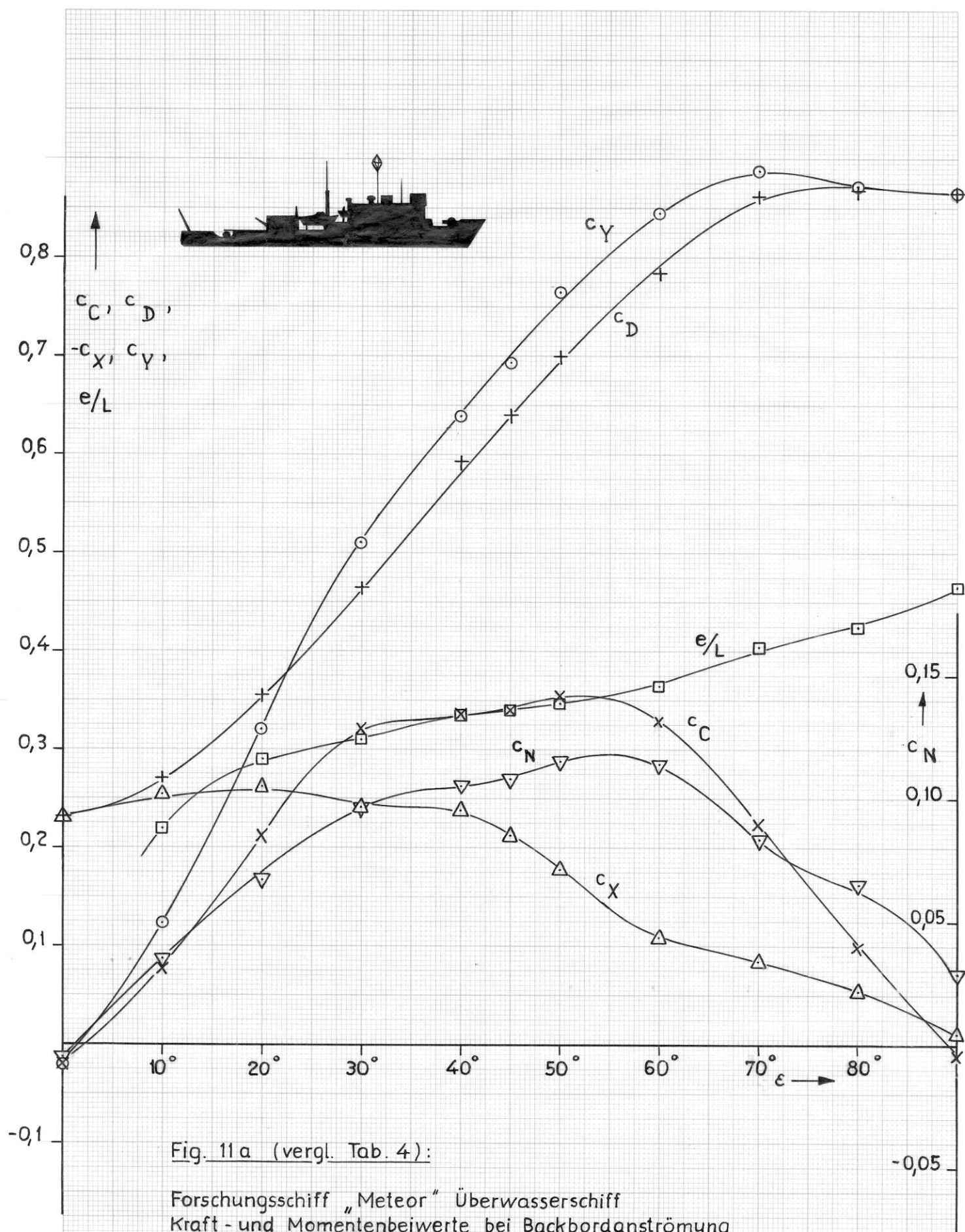


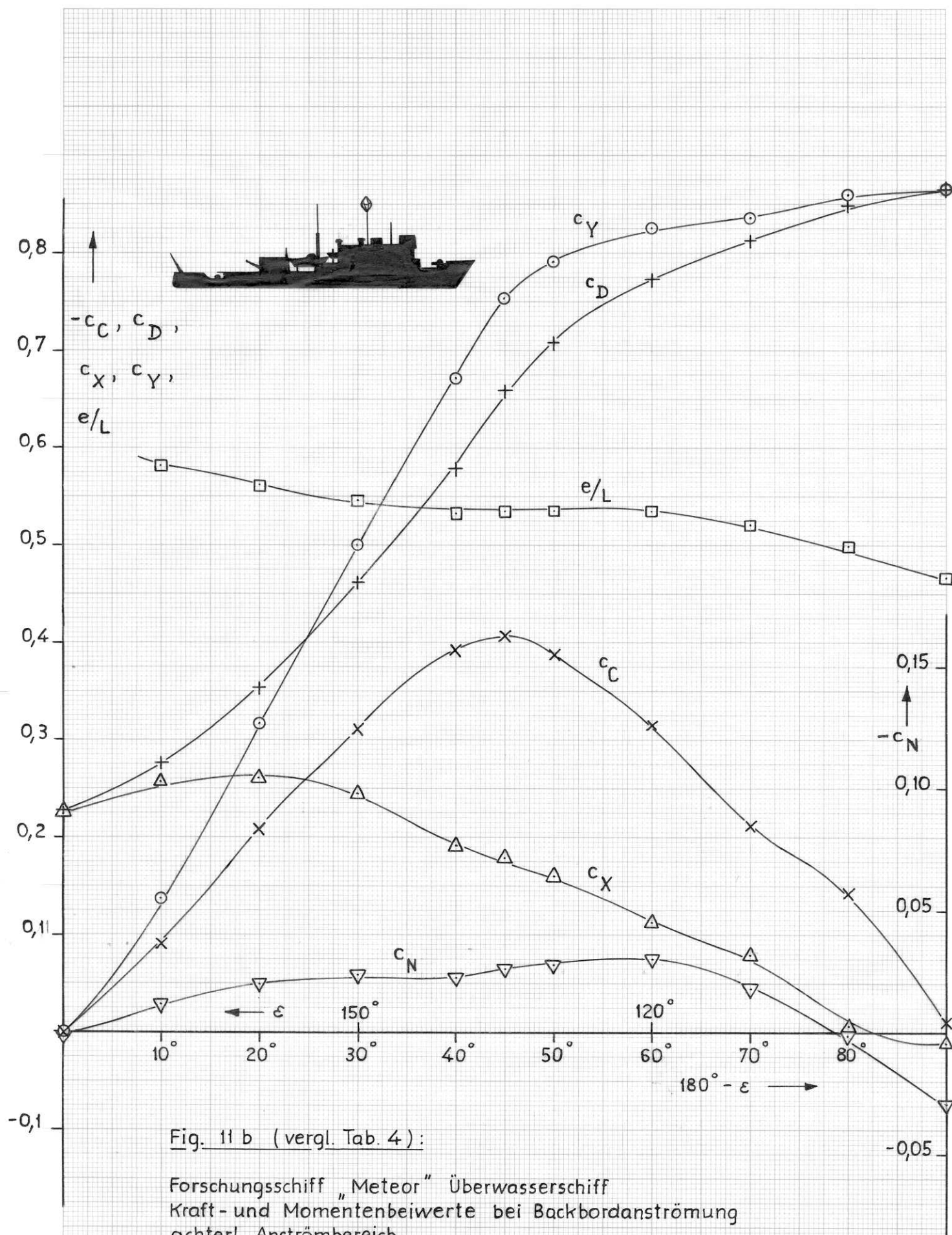
Fig. 10 a (vergl. Tab. 3):

Forschungsschiff „Meteor“ Überwasserschiff  
Kraft- und Momentenbeiwerte bei Steuerbordanströmung

$$\frac{2 A_{LA}}{L_{oa}^2} = 0,1982; \quad \frac{L_{oa}}{B} = 6,07; \quad R_n = 1,836 \cdot 10^6$$







$$\frac{2A_{LA}}{L_{oa}^2} = 0,1982; \quad \frac{L_{oa}}{B} = 6,07; \quad R_n = 1,825 \cdot 10^6$$

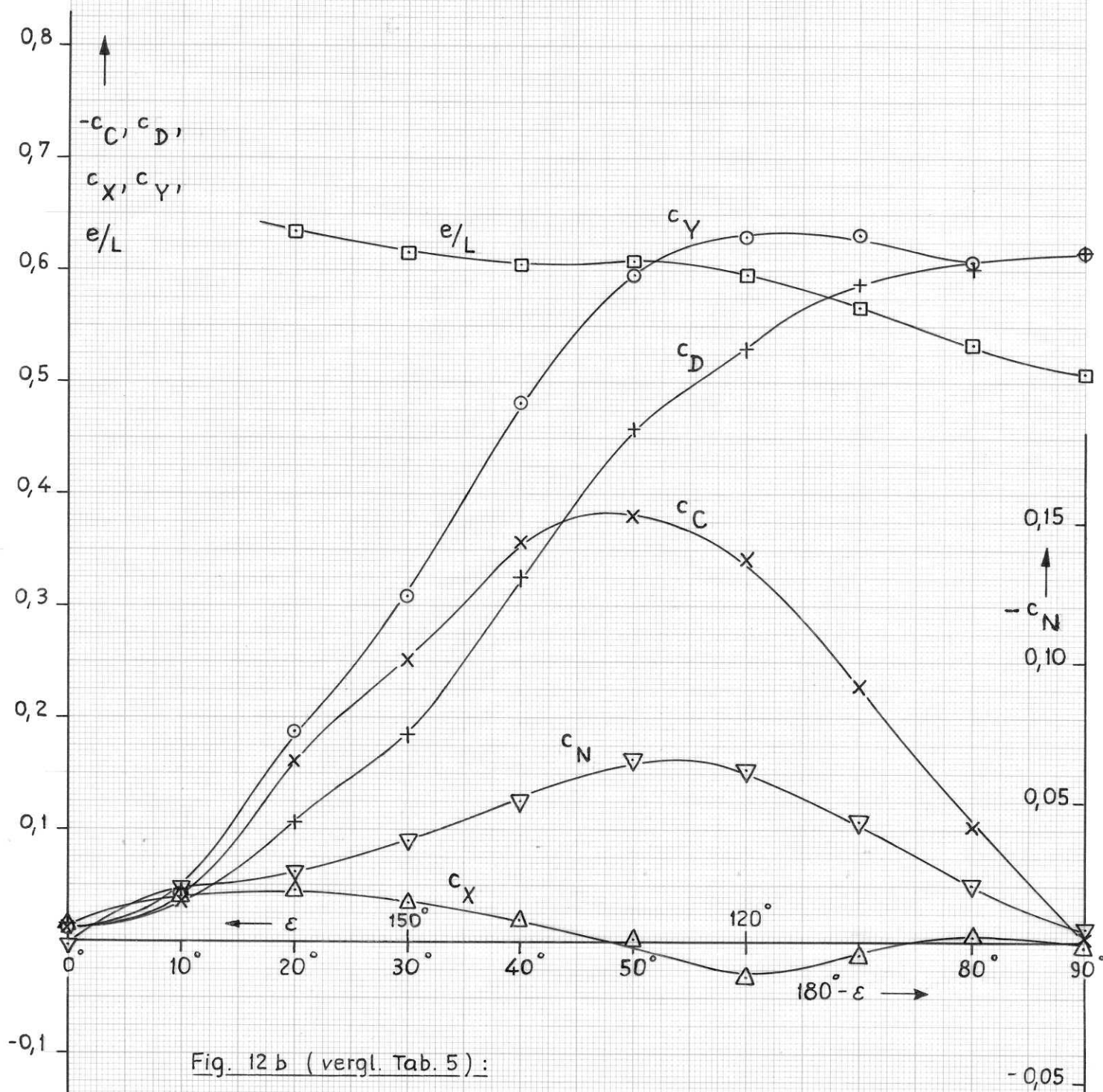


Fig. 12 b (vergl. Tab. 5):

Forschungsschiff „Meteor“ Unterwasserschiff  
mit Schlingerkielen

Kraft- und Momentenbeiwerte; achterl. Anströmbereich

$$\frac{2A_{UH}}{L_{WL}^2} = 0,1183; \quad \frac{L_{WL}}{B} = 5,74; \quad R_n = 1,245 \cdot 10^6$$

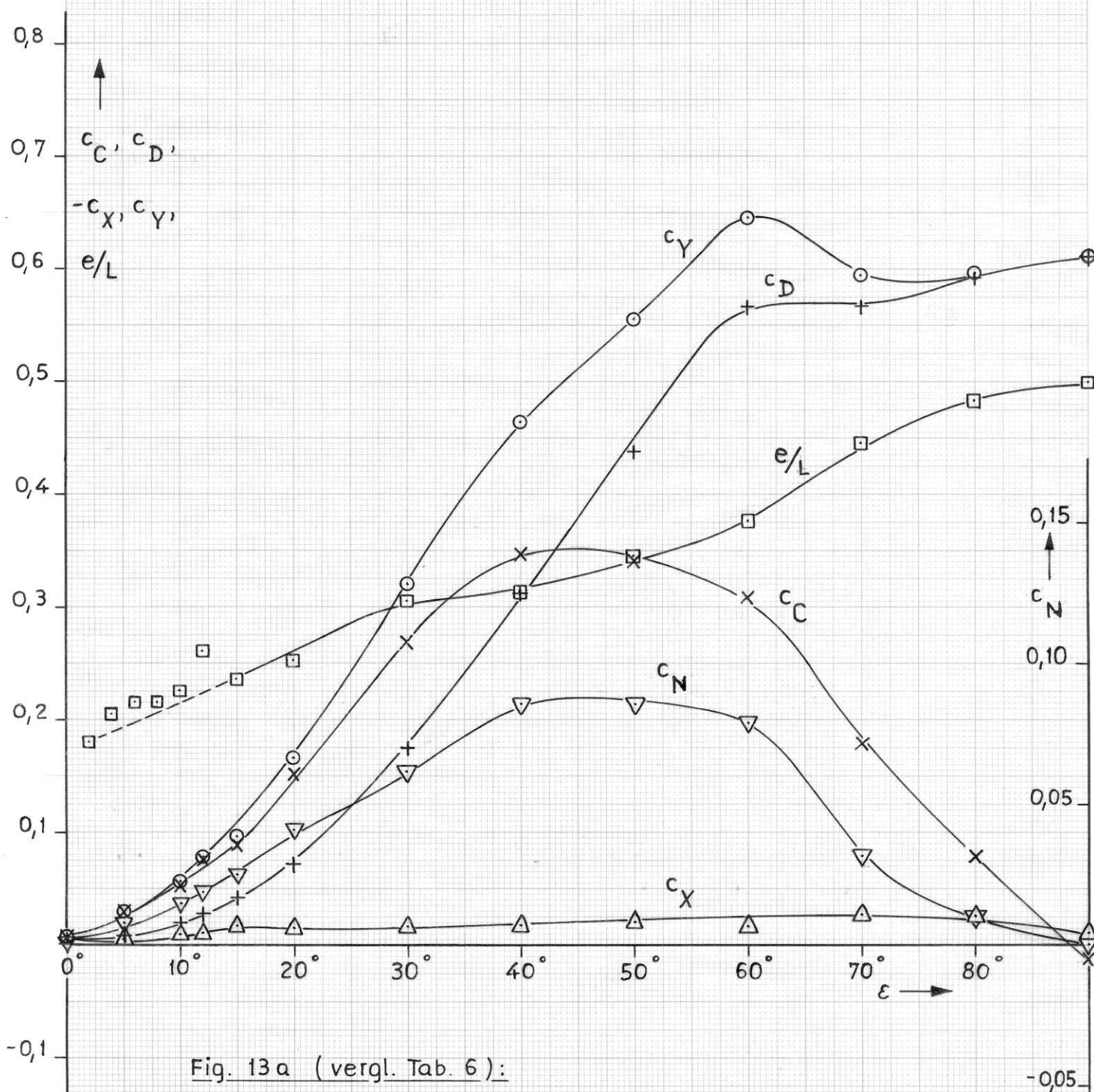


Fig. 13 a (vergl. Tab. 6):

Forschungsschiff „Meteor“ Unterwasserschiff  
mit Schlingerkielen

Kraft- und Momentenbeiwerte

$$\frac{2A_{LH}}{L_{WL}^2} = 0,1183; \quad \frac{L_{WL}}{B} = 5,74; \quad R_n = 1,760 \cdot 10^6$$

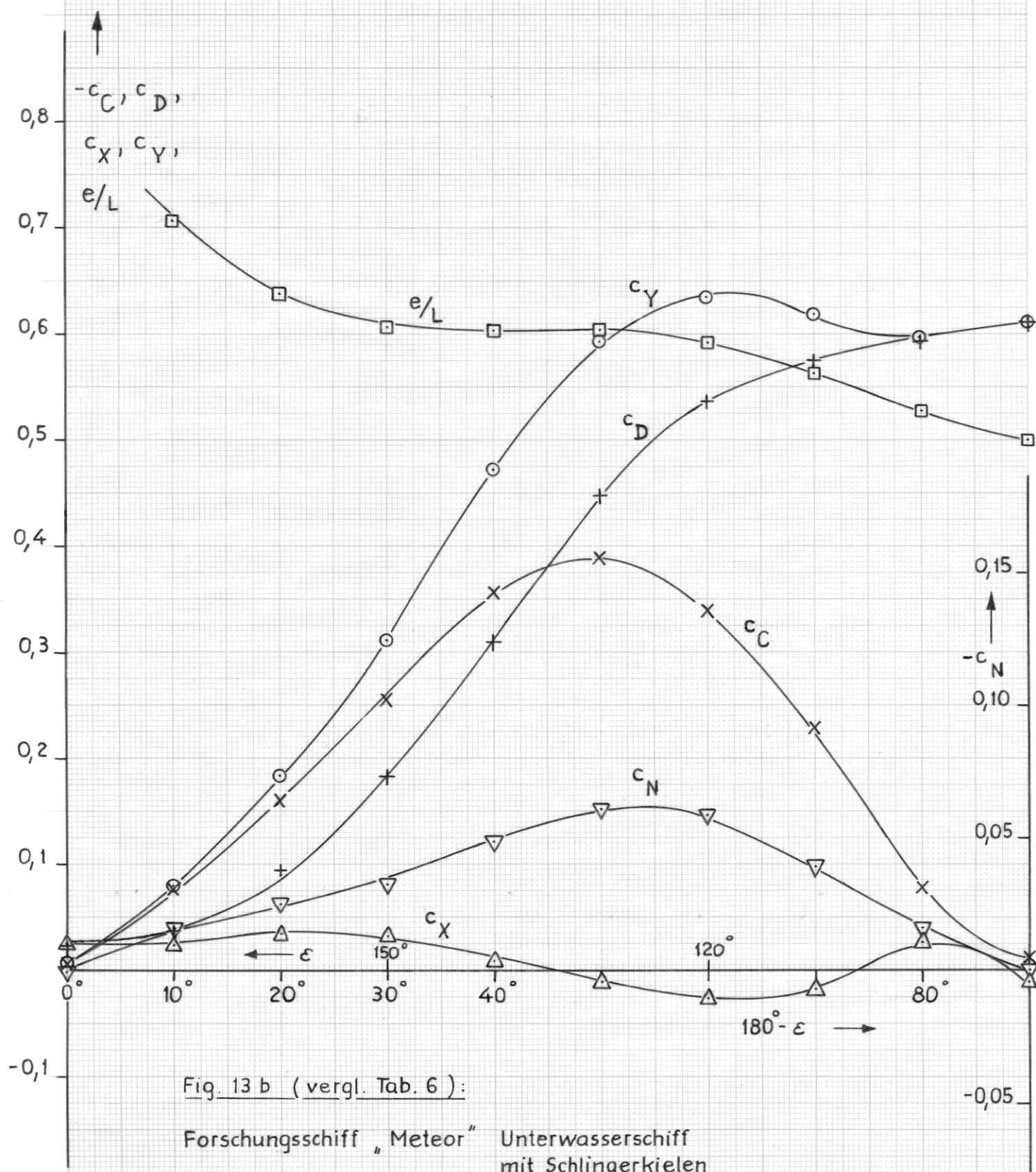


Fig. 13 b (vergl. Tab. 6):

Forschungsschiff „Meteor“ Unterwasserschiff  
mit Schlingerkielen

Kraft- und Momentenbeiwerte; achterl. Anströmbereich

$$\frac{2 A_{LH}}{L_{WL}^2} = 0,1183; \quad \frac{L_{WL}}{B} = 5,74; \quad R_n = 1,760 \cdot 10^6$$

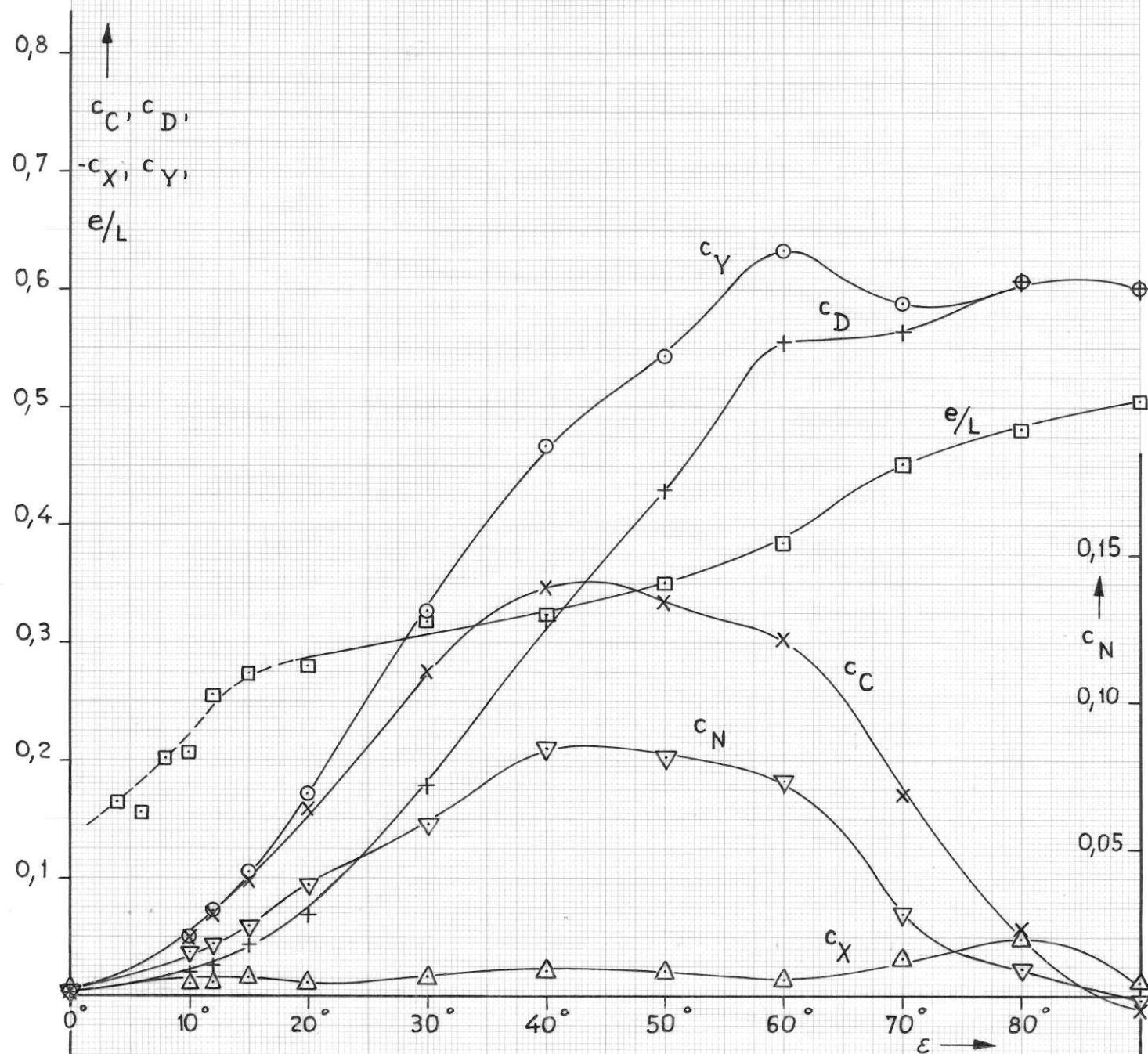


Fig. 14 a (vergl. Tab. 7):

Forschungsschiff „Meteor“ Unterwasserschiff  
ohne Schlingerkeile

Kraft- und Momentenbeiwerte

$$\frac{2 A_{LH}}{L_{WL}^2} = 0,1183 ; \quad \frac{L_{WL}}{B} = 5,74 ; \quad R_n = 1,760 \cdot 10^6$$

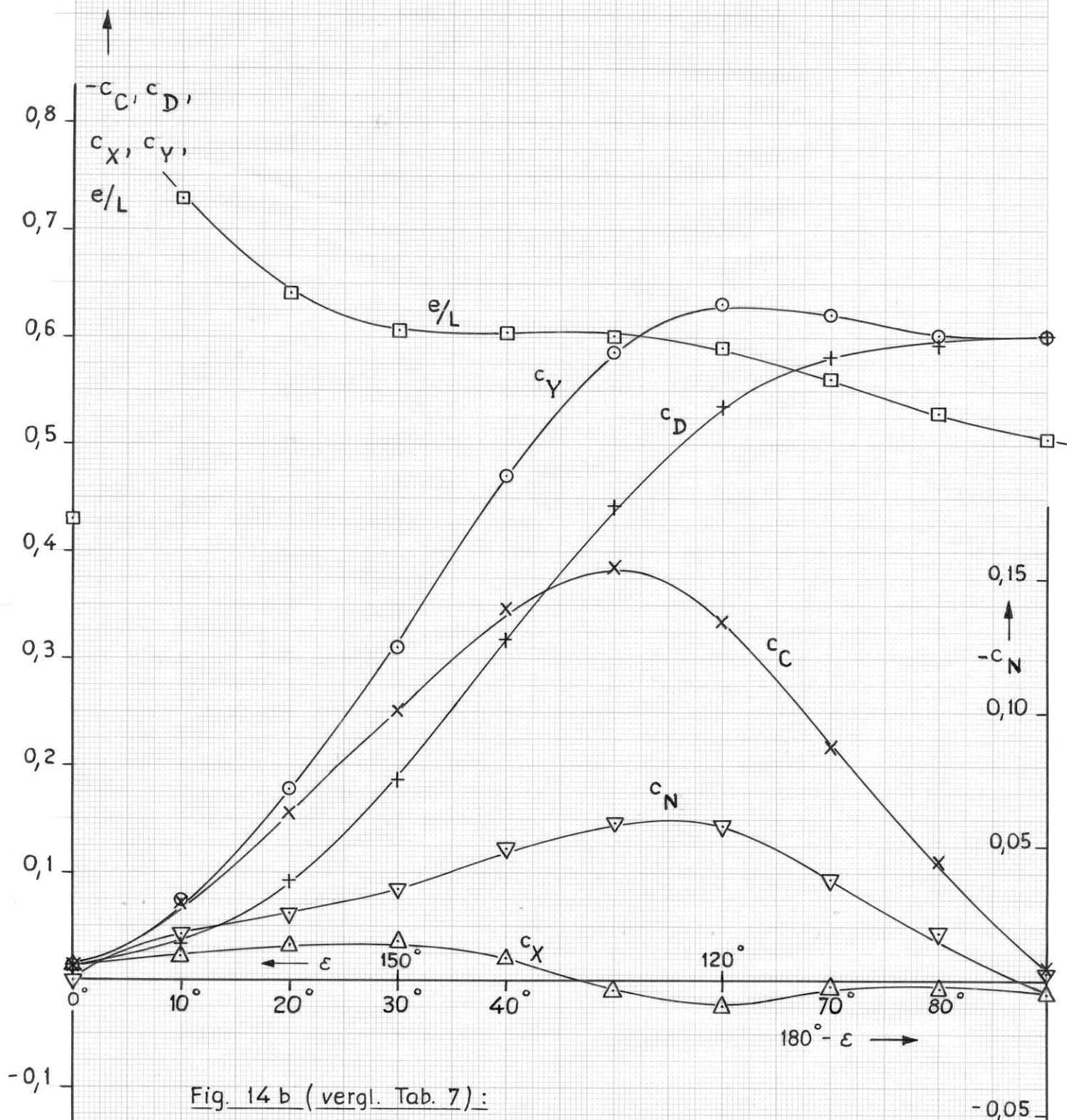


Fig. 14 b (vergl. Tab. 7):

Forschungsschiff „Meteor“ Unterwasserschiff  
ohne Schlingerkiele

Kraft- und Momentenbeiwerte; achterl. Anströmbereich

$$\frac{2 A_{LH}}{L_{WL}^2} = 0,1183; \quad \frac{L_{WL}}{B} = 5,74; \quad R_n = 1760 \cdot 10^6$$

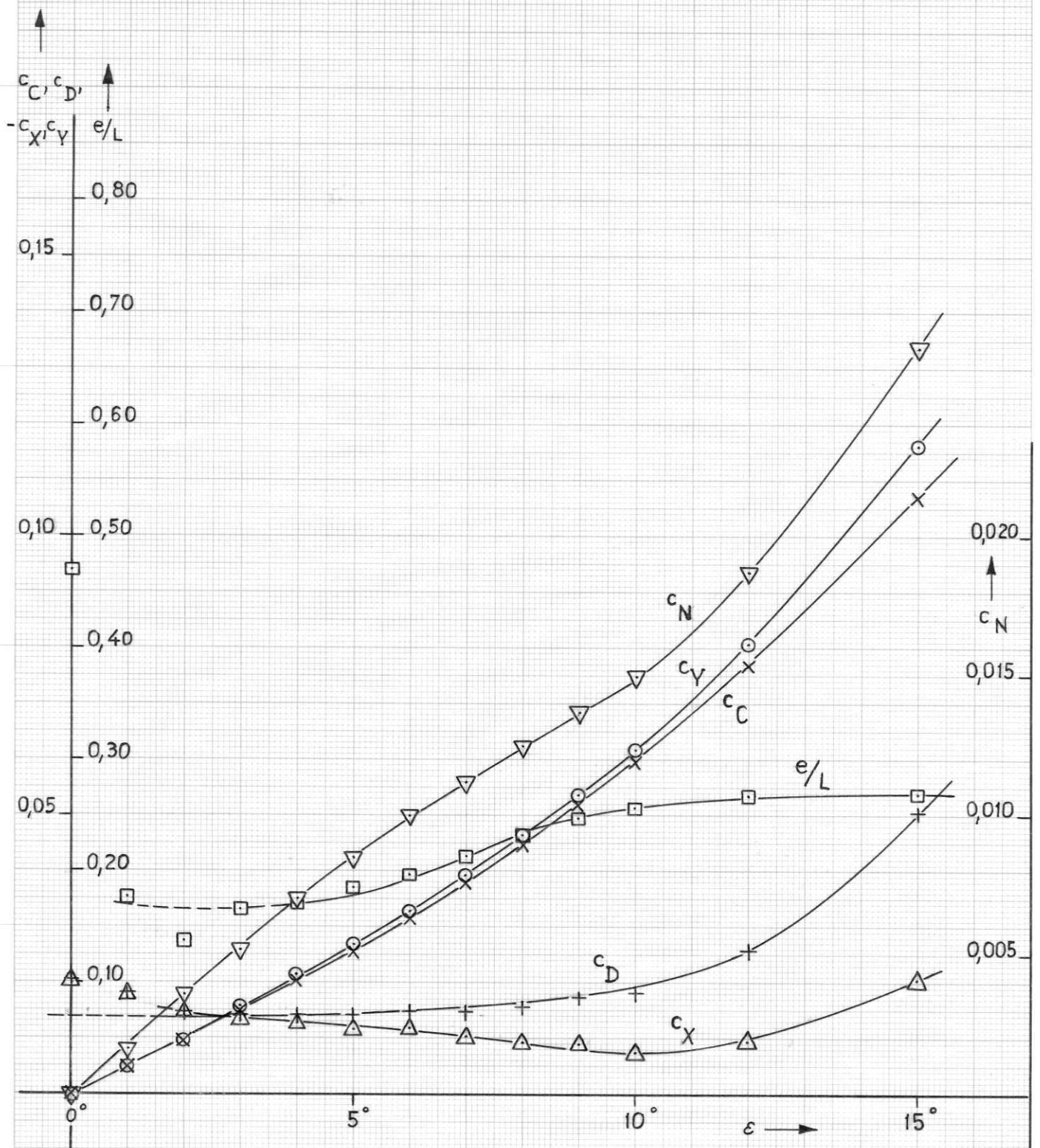


Fig. 15 (vergl. Tab. 8):

Forschungsschiff „Meteor“ Unterwasserschiff  
mit Schlingerkielen

Kraft- und Momentenbeiwerte, Strakwerte

$$\frac{2 A_{LH}}{L_{WL}^2} = 0,1183; \quad \frac{L_{WL}}{B} = 5,74; \quad R_n = 1,245 \cdot 10^6$$

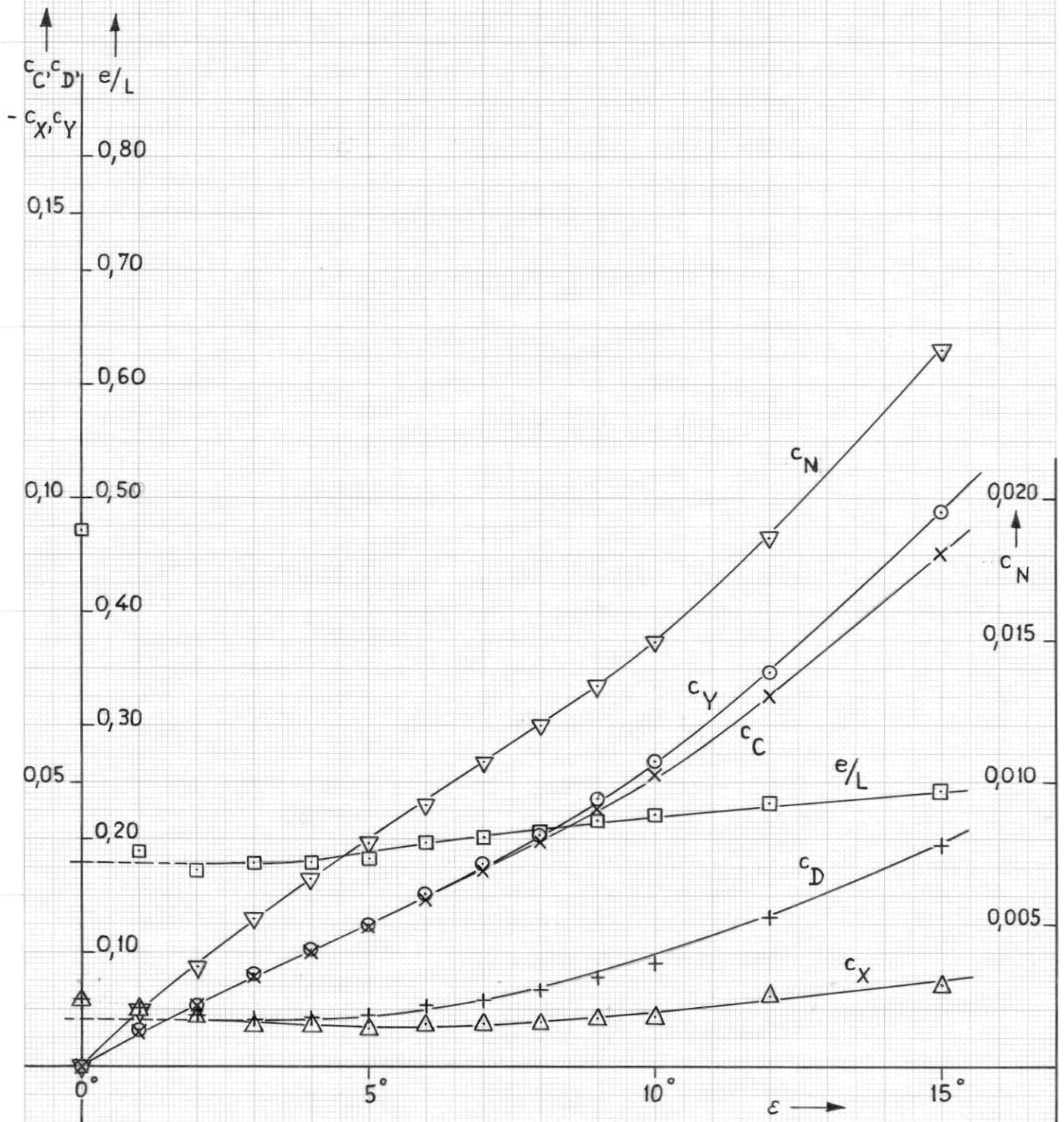


Fig. 16 (vergl. Tab. 9):

Forschungsschiff „Meteor“ Unterwasserschiff  
mit Schlingerkielen  
Kraft- und Momentenbeiwerte, Strakwerte

$$\frac{2 A_{LH}}{L_{WL}^2} = 0,1183; \quad \frac{L_{WL}}{B} = 5,74; \quad R_n = 1,760 \cdot 10^6$$

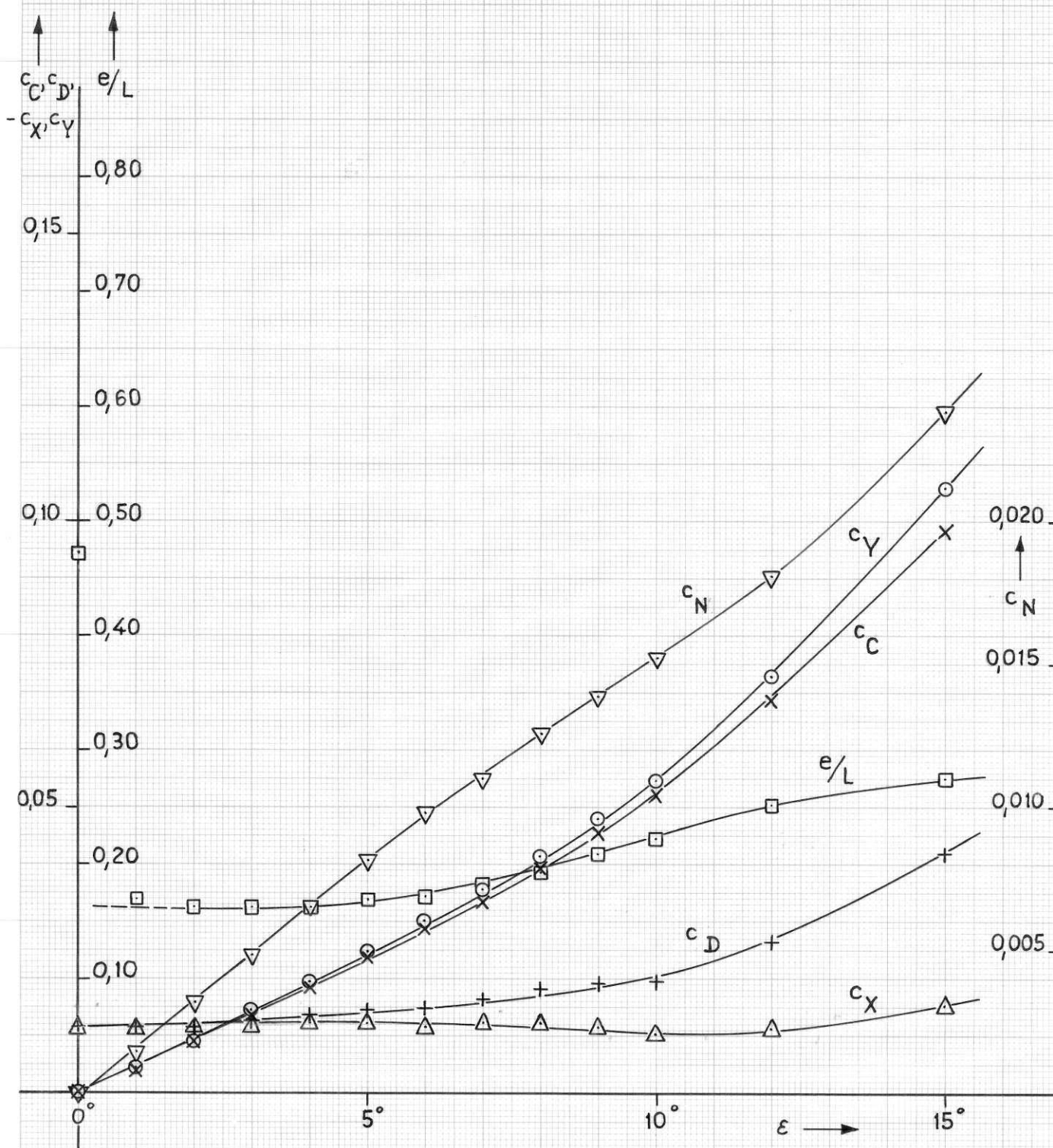


Fig. 17 (vergl. Tab. 10):

Forschungsschiff „Meteor“ Unterwasserschiff  
ohne Schlingerkiele  
Kraft- und Momentenbeiwerte, Strakwerte

$$\frac{2A_{LH}}{L_{WL}^2} = 0,1183; \quad \frac{L_{WL}}{B} = 5,74; \quad R_n = 1,760 \cdot 10^6$$

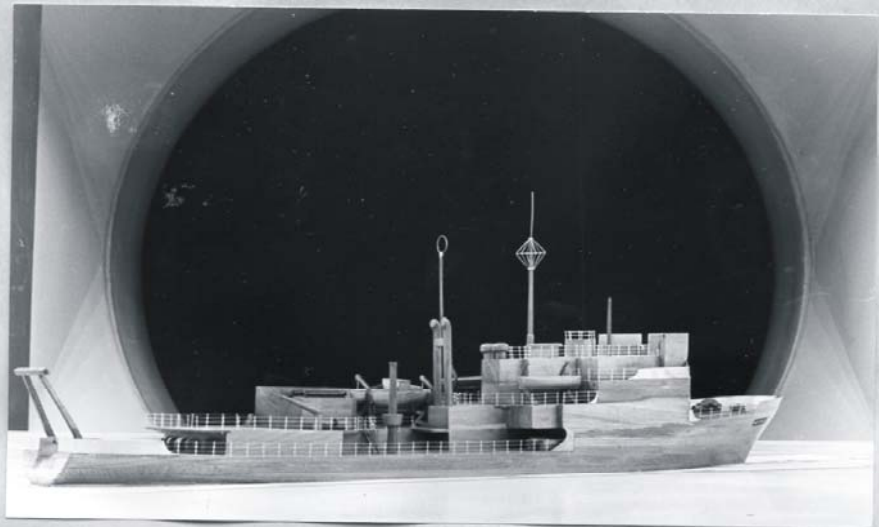


Fig.6: Modell Überwasserschiff "Meteor" auf Drehscheibe  
Rechteckdüse im Hintergrund

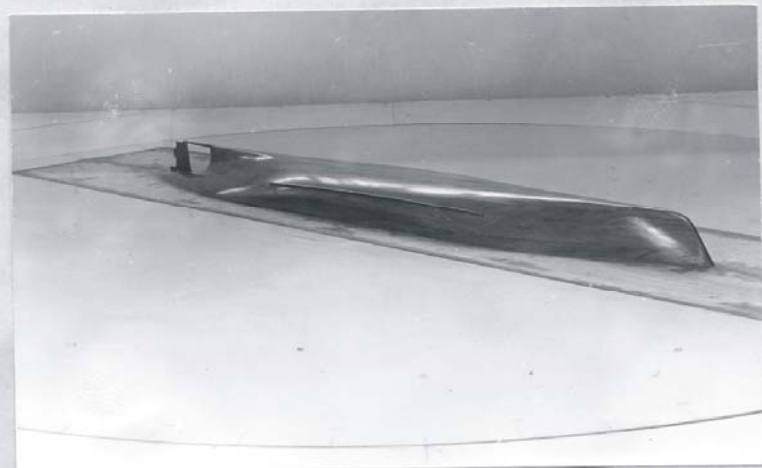


Fig.7: Modell Überwasserschiff mit Schlingerkielen und  
Ruderattrappe auf Drehscheibe