186 | März 1968

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

B. Wagner

ANGLED TOWTRIALS FOR A

Schrägschleppversuche für einen Seglerrumpf mit und ohne Balkenkiel und für den „Mariner“

SAILBOAT HULL

with and without Keel and for a "Mariner" (Hull type)

TUHH
Technische Universität Hamburg-Harburg

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 186

Schrägschleppversuche für einen Seglerrumpf mit und ohne Balkenkiel und für den 'Mariner'

von

B. Wagner

Hamburg, März 1968

Schrägschleppversuche für einen Seglerrumpf mit und ohne Balkenkiel und für den 'Mariner'

Inclined towing results are reported for 2 shiphull models. The effects of keel, hull shape, Aspect ratio, rudder position and Froude number are reported, with force and yaw-moment coefficients for the hull.

von

B. Wagner

Es wird über Schrägschleppversuche mit zwei Schiffsmodellen und deren Ergebnisse berichtet. Insbesondere werden der Einfluß von Balkenkiel, Hauptspantform, Seitenverhältnis, Ruderlage und Froudezahl auf die Größe der Kraft- und Giermomentenbeiwerte des Unterwasserschiffes erläutert. Die Versuchsergebnisse wurden nach bekannten und neu vorgeschlagenen Ansätzen analysiert.

OUTLINE

Gliederung :

1. Einführung
2. Aufgabenstellung
3. Beschreibung der Modelle
4. Versuchseinrichtung und Durchführung der Versuche
5. Darstellung der Meßergebnisse
6. Ergebnisse der Versuche
7. Analyse der Schrägschleppversuche
   7.1 Kräfte am Schiffsrumpf
   7.2 Einfluß des Ruderwinkels
8. Zusammenfassung
9. Symbolübersicht
10. Schrifttum

Anhang: Schleppversuche für den Seglerrumpf mit und ohne Krängung

1. Einführung

An einem manövrierenden Schiff muß in jedem Augenblick das Gleichgewicht der Kräfte und Momente gewahrt sein. Aus diesem Grunde ist man schon seit längerer Zeit um die Ermittlung der hydrodynamischen Kräfte und Momente des manövrierenden - also meist mit einem Driftwinkel auf gekrümmter Bahn fahrenden - Schiffes bemüht, und zwar auf theoretischem und experimentellem Weg. Die Versuche werden i.a. im Rundlaufkanal durchgeführt, wo Bahnradius (und damit Bahnkrümmung) und Driftwinkel eingestellt und die Kräfte und Momente als Funktion von Driftwinkel, Bahnkrümmung und Geschwindigkeit ermittelt werden können. Solche Versuche werden mit oder ohne laufenden Propeller durchgeführt. Der Schrägschleppversuch ist praktisch der Extremfall des Rundlaufversuchs für die Bahnkrümmung Null. Er wird im normalen Schlepptank durchgeführt.

Von Interesse sind die Seitenkraft Y (Kraftkomponente senkrecht zur Schiffslängsrichtung), das Giermoment N bzw. die Druckpunktlage der Unterwasserkraft, aber auch die Widerstandserhöhung, genauer die zusätzliche Längskraft bei Abtrift. Schrägschleppversuchsergebnisse sind immer dann von Bedeutung, wenn man den Gleichgewichtszustand des in Translation befindlichen Schiffes bei äußerem Kraftangriff betrachtet, also bei Wind (extrem beim Segelschiff), seitlichem Trossenzug u.ä..

Anlaß für die hier beschriebene Untersuchung war die Prüfung eines am IfS entwickelten Rechenverfahrens zur Vorausberechnung der Fahrtgeschwindigkeit von Segelschiffen. Bei dieser Rechnung spielt z.B. die Widerstandserhöhung bei Abdrift (Schräganströmung des Rumpfes) eine große Rolle. Vom Segelschiffsrumpf muß ständig eine der Seitenkomponente der Luftkraft entgegengesetzte Kraft erzeugt werden, was durch Schrägstellen des Rumpfes geschieht und eine Widerstandserhöhung zur Folge hat [1]. Ähnliches gilt selbstverständlich für jedes bei Seitenwind manövrierende Schiff. In [2] wurde gezeigt, daß

diese zusätzliche Kraft in Längsrichtung auch bei Motorschiffen durchaus die Größenordnung der meist allein als "Windwiderstand" angesehenen Längskomponente der Luftkraft erreichen kann. Das Modell des Seglers - es handelt sich um eine Viermastbark vom Typ "Pamir",- wurde speziell für diese Versuche gebaut. Das Modell des "Mariner" war am IfS verfügbar. Die Versuche wurden so angelegt, daß die Ergebnisse über den eigentlichen Zweck hinaus, also die Schaffung von Unterlagen über die hydrodynamischen Kräfte und Momente am Schiffsrumpf bei Schräganströmung zur Geschwindigkeitsberechnung für Segelschiffe, von allgemeinem Interesse für die Untersuchung der Manövriereigenschaften von Schiffen sind. Deshalb wurde auch besonderer Wert auf die Analyse der Versuchsergebnisse gelegt.

2. Aufgabenstellung

Mit den ausgewählten zwei Modellen, also dem Segler-Rumpf und dem "Mariner", ließ sich kein größeres systematisches Versuchsprogramm durchführen, wie es wünschenswert wäre, da bisher verhältnismäßig wenig Ergebnisse von Schrägschleppversuchen veröffentlicht wurden.

The aim was to develop forces and moments at small drift angles ($\beta \leq 20°$). Of particular interest were:

Die beschriebenen Versuche hatten das Ziel, die Kräfte und Momente auf das Unterwasserschiff bei kleinen Anströmwinkeln (Driftwinkel $\beta \leq 20°$) zu ermitteln. Von besonderem Interesse waren hierbei:

Einfluß eines Balkenkiels, influence of bar-keel

Einfluß der Hauptspantform, main frame-shape

Einfluß des Seitenverhältnisses des Unterwasserschiffes ($\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}}$), influence of ASPECT RATIO of underwater ship (hull) $AR = \frac{2 \text{ DRAFT "T"}}{L_{pp}}$ ← length twixt perpendiculars

Einfluß der Ruderlage und

Einfluß der Froudezahl auf die Kraft- und Momentenbeizahlen.

Es konnte nicht erwartet werden, daß die Versuchsergebnisse ausreichen, um diese Einflüsse generell mit ausreichender Genauigkeit zu berechnen.

3. Beschreibung der Modelle

Die Hauptabmessungen sowie die interessierenden Verhältniswerte der Modelle gehen aus der folgenden Übersicht hervor:

MODEL DESCRIPTION

		Viermastbark (Linien nach [3])	"Mariner" (Linien nach [4])	
Model Scale	Maßstab	1:48	1:80	
	L_{pp}	2,00	2,012	m
BEAM	B	0,298	0,290	m
max Draft	T_{max}	0,150	0,103/0,123	m
	T Draft	0,142		
BLOCK COEFF.	∇ Displacement	0,0584	0,036/0,0444	m^3
According to German wikipedia	δ	0,69	0,60/0,62	
ASPECT RATIO	$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}}$	0,142/0,150	0,102/0,122	
	L/B	6,71	6,95	
MIDSHIP SECTION COEFF.	β	0,907	0,981	

Die Linien der Modelle gehen aus Abb. 1 und 2 hervor.

Der Segierrumpf (ship hulls) wurde aus Holz (was made of wood) hergestellt und lackiert (painted), Kiel und Balkensteven (keel and beam/plank stems) (aus Metall) waren abnehmbar (were removable). Das Plattenruder (the plate rudders could be fixed) konnte mit gewünschtem Anstellwinkel (with the angle of attack desired) festgesetzt werden.

Das 'Mariner'-Modell (The Mariner model was made of GRP) war aus GFK*) hergestellt. Es hatte ein einstellbares (it has an adjustable) Balanceruder (wooden balance rudder) aus Holz.

Als Turbulenz-Erreger (A turbulence-generating wire of 1.5 mm diam. made of Perlon) wurde ein 1,5 mm Perlon-Draht (was placed on frame 19) auf Spant 19 verwendet, dessen Einfluß (the resistance of which has been corrected) auf den Widerstand korrigiert wurde.

4. Versuchseinrichtung und Durchführung der Versuche

EXPERIMENTAL SET-UP AND IMPLEMENTATION of the experiments.

Die Versuche (The tests were conducted in the small HSVA tank ..blah blah) wurden im kleinen Tank der HSVA (Länge 80m, Breite 5m, Tiefe 3m) durchgeführt. Es wurde die elektrische 3 Komponenten-Federgelenkwaage des IfS mit 3 Aufnehmerdosen von 10kp Meßbereich benutzt.

---

*) Glasfaserverstärkter Kunststoff

Das Modell war über eine besondere Vorrichtung, die freies Krängen, Trimmen und Tauchen erlaubte, mit der Dreikomponenten-Waage verbunden (vgl. Abb. 3). Freies Krängen und Trimmen wird durch ein Kardangelenk unmittelbar am Befestigungspunkt des Modells auf $L_{pp}/2$ in der Wasserlinie erreicht. Die Verbindung zwischen dem Gelenk und der Waage bildete ein gehärtetes Stahlrohr, das in einer Kugellagerbuchse mit Parallelführung lief und freies Tauchen ermöglichte.

Mit der Drehvorrichtung der Waage konnte ein beliebiger Driftwinkel am Modell eingestellt werden. Um den Einfluß der Krängung auf die Meßergebnisse zu eliminieren, wurde während der Fahrt vor der Messung durch seitliches Gewichtverschieben die Krängung zu Null gemacht. Diese Methode liefert - allerdings mit unbefriedigender Genauigkeit - auch das Rollmoment. Bei den beschriebenen Versuchen kam es nur darauf an, die Krängung möglichst klein zu halten. Für eine genauere Rollmomentenmessung müßte vor allem die Krängungsmessung verbessert werden (z.B. Wasserwaage statt Pendeldraht).

Die Meßstrecke selbst war von schlechter Qualität; es traten öfter Stöße auf, die zu stärkeren Vibrationen des Schleppwagens und zu Meßwertschwankungen führten. Aus diesem Grunde wurden Tiefpässe vor die die DMS-Aufnehmerdosen speisenden Trägerfrequenz-Meßverstärker geschaltet. Die Meßwerte wurden auf einem ruhigen Streckenabschnitt mit Hilfe eines Oszillografen geschrieben, und zwar zwei Widerstandskomponenten und eine Querkraftkomponente. Zur Ermittlung der Geschwindigkeit des Schleppwagens diente ein Wegschrieb auf einer Synchrontrommel.

Übersicht über die Versuche

Nr.	Modell	Bemerkung	V [m/s]	F_n	Driftwinkel β (Literally (Drift Angle) Angle twist hull + water flow)	δ_R (rudder angle)	Figure Abb.	Tab.
1	Viermastb. (5-MASTED ship)	mit Kiel	0,692	0,155	0,2,5,7,10,12,15,20	0°	4	1.1
2	"	"	0,897	0,203	"	0°	4	1.2
3	"	"	0,690	0,155	0,2,5,7,10,12,15	10°	5	2
4	"	"	0,684	0,155	0,2,5,7,10,12,13,15	20°	5	3.1
5	"	"	0,890	0,203	0,2,5,7,10,12,15	20°	6	3.2
6	"	ohne (without) Kiel	0,678	0,155	0,2,5,7,10,12,15,20	0°	7	4.1
7	"	"	0,895	0,203	"	0°	7	4.2
8	"Mariner"	T_1=0,103 m	0,690	0,155	0,2,5,7,10,12,15,20	0°	8	5.1
9	"	"	0,899	0,203	"	0°	8	5.2
10	"	T_2=0,123 m	0,684	0,155	"	0°	9	6.1
11	"	"	0,900	0,203	"	0°	9	6.2
12	"	"	1,232	0,279	"	0°	9	6.3

Comments on the evaluation method
Bemerkungen zur Auswertmethode

Auf dem Oszillographenschrieb wurde für ein Teilstück mit möglichst geringen Meßwertschwankungen die mittlere Auslenkung aus der Nulllage für die einzelnen Komponenten ermittelt. Unter Beachtung des Meßbereichs ergaben sich dann aus den Eichkurven die 3 Kraftkomponenten. Durch Auftragen der einzelnen Komponenten über dem Driftwinkel β wurden die Meßergebnisse auf Fehler geprüft und gegebenenfalls korrigiert.

Der Wert des Widerstandes bei Anströmung von vorn wurde wegen der größeren Genauigkeit von speziellen Schleppversuchen übernommen (Seglerrumpf, s. Anhang) oder durch Umrechnung anderer Schleppversuchsergebnisse überprüft ("Mariner").

Presentation of Measurement Results

5. Darstellung der Meßergebnisse

In der vorstehenden Übersicht ist auf die Darstellung der Meßergebnisse in Abbildungen und Tabellen hingewiesen worden.

Aus den Originalmeßdaten wurden die Kraftkomponenten (Querkraft C, Widerstand D) und das Giermoment N berechnet und in dimensionslose Form gebracht.

Transverse force $C_?$ DRAG YAW MOMENT

Die dimensionslosen Beiwerte werden wie folgt definiert (vgl.Abb.10):

LIFT Querkraftbeiwert $c_C = \frac{C}{q \cdot L_{pp} \cdot T}$ PERP TO FLOW IN

DRAG Widerstandsbeiwert $c_D = \frac{D}{q \cdot L_{pp} \cdot T}$ Parallel to FLOW IN

YAW MOMENT Giermomentenbeiwert $c_N = \frac{N}{q \cdot L_{pp}^2 \cdot T}$ $M = \underbrace{\tfrac{1}{2}\rho V^2 L_{pp} T}_{\text{Force}} \cdot \underbrace{L_{pp}}_{\text{Moment}} C_M$

Dimensionally incorrect!

$C_M = \frac{M}{\tfrac{1}{2}\rho L_{pp}^2 T V^2}$

Hierbei bedeuten:

$q = \frac{\rho}{2} \cdot V^2$ Staudruck der Anströmgeschwindigkeit Dynamic Pressure of Flow Velocity

L_{pp}, T Länge zwischen den Loten, Tiefgang (max) Length between perp's, Draft (max)
(statt 'Lateralfläche' unter Wasser wurde vereinfachend $L_{pp} \cdot T$ gesetzt) Lateral underwater surface simplified to $L_{pp} * \text{draft}$

Beim Widerstand unterscheiden wir zwei Anteile:

in direction of flow in $D = D_0 + D_C$ Total drag = 0 Leeway drag + Leeway drag

Leeway = 0°

Straight ahead resistance D_0 Widerstand für Geradeausfahrt ($\beta = 0$)

Resistance increase due to inclined flow D_C Widerstandserhöhung bei Schräganströmung ('Querkraftwiderstand'), (i.a. induzierter Widerstand)

Die Kraftkomponenten in Schiffslängsrichtung und senkrecht dazu errechnet man aus folgenden Gleichungen:

force components in longitudinal and perp. to ship

$c_X = c_C \cdot \sin\beta - c_D \cdot \cos\beta$ (Beiwert der Längskraft)

$c_Y = c_C \cdot \cos\beta + c_D \cdot \sin\beta$ (Beiwert der Seitenkraft)

Aus Giermomentenbeiwert (yaw moment coeff) und Seitenkraftbeiwert (lateral force coeff) erhält man als Quotienten die relative Druckpunktvorlage.

Distance between hull C.E. and ship center

ship lpp yaw mom coeff/c_Y

$x_F/L_{pp} = c_N/c_Y$ die Lage des Druckpunktes vor dem Momentenbezugspunkt ($L_{pp}/2$).

Der in den Tabellen enthaltene relative Abstand des Druckpunktes vom vorderen Lot sei mit

Dist. from bow to hull C.E.

$$\frac{e}{L_{pp}} = 0{,}50 - \frac{x_F}{L_{pp}}$$ definiert. defined

Als <u>Gleitzahl der Kräfte am Unterwasserschiff</u> wird

Drag due to inclination → coeff for drag increase due to leeway

$$\varepsilon_{CH} = \frac{D_C}{C} = \frac{c_{DC}}{c_C}$$ bezeichnet. designated

Sim → lift coeff?

<u>Auftragungsweisen</u>:

Außer der Auftragung der Beiwerte über dem Anströmwinkel (Driftwinkel β) c_C, $c_{DC} = f(\beta)$ ist auch die <u>Polarendarstellung</u> gebräuchlich: Trägt man für verschiedene Driftwinkel c_C über dem zugehörigen c_{DC} auf, so erhält man die "Rumpfpolare", die sehr anschaulich zeigt, mit welchem Widerstandszuwachs eine gewünschte Rumpfquerkraft "erkauft" werden muß.

Später wird noch die Auftragung der Gleitzahl ε_{CH} über dem zugehörigen Wert c_C/Λ benutzt (s.u.!).

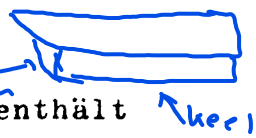
RESULTS OF EXPERIMENTS

6. Ergebnisse der Versuche

FIG 4 – 8

Die Versuchsergebnisse wurden in den Abb. 4 bis 8 dargestellt. Die Bilder enthalten Querkraftbeiwert c_C und Querkraftwiderstandsbeiwert c_{DC} *) als Funktion des Driftwinkels β und des Ruderwinkels δ_R. Außerdem sind die Rumpfpolaren $c_C = f(c_{DC})$ eingezeichnet. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die verschiedenen Modelle und Modellvarianten einzeln erläutert.

I am guessing:



SPLINE HULL WITH BAR KEEL and BAR stem

<u>Segler-Rumpf mit Balkenkiel und Balkensteven:</u> Die Abb. 4 enthält die Versuchsergebnisse für zwei verschiedene Froudezahlen. Man

*) sowie Giermomentenbeiwert c_N und die Druckpunktlage $\frac{e}{L_{pp}}$

sieht, daß der Froudezahleinfluß auf die Querkraftbeiwerte gering ist. Dagegen nimmt der Querkraftwiderstandsbeiwert mit wachsender Froudezahl ab. Der induzierte Widerstand dürfte sich nicht ändern, jedoch ist nur ein Teil des Querkraftwiderstandes induzierter Widerstand. Entsprechend ändert sich die Rumpfpolare. Für klein β liegt der Druckpunkt der Rumpfseitenkraft bei der höheren Froudezahl weiter vorn. Er wandert mit wachsendem Driftwinkel nach hinten.

Einfluß des Ruderlegens (Segler-Rumpf mit Kiel) (Abb. 5 und 6):

Der Einfluß des Ruderlegens wurde für die Ruderlagen $\delta_R = 10^\circ$ und 20° untersucht, ist aber für $\delta_R = 10^\circ$ verhältnismäßig undeutlich. Die für $\delta_R = 20^\circ$ besser erkennbaren Einflüsse sind für beide Froudezahlen gleich: Der Querkraftbeiwert c_C und der Querkraftwiderstandsbeiwert c_{DC} sind gegenüber $\delta_R = 0^\circ$ im gesamten Bereich, mit β zunehmend, erhöht. Der Druckpunkt verschiebt sich bei gelegtem Ruder - wie erwartet - nach hinten, wodurch sich die auf $L_{pp}/2$ bezogenen Giermomentenbeiwerte vermindern.

Segler-Rumpf ohne Balkenkiel (Abb. 7):

Durch das Entfernen des Balkenkiels uns -stevens sind Querkraft- und Querkraftwiderstandsbeiwert beträchtlich vermindert gegenüber den Werten für den Rumpf "mit Kiel". Da die Druckpunktlage sich kaum änderte, sind auch die Giermomente kleiner.

Froudezahlabhängigkeit: Bei der höheren Froudezahl tritt wiederum ein kleinerer Querkraftwiderstandsbeiwert auf, für kleine Driftwinkel ist aber auch der Querkraftbeiwert deutlich niedriger. Der Druckpunkt liegt bei der höheren Froudezahl im gesamten Bereich weiter vorn.

Vergleicht man die Rumpfpolaren mit und ohne Balkenkiel, so sieht man, daß sie sich im Bereich kleiner Driftwinkel ($\beta < 10^\circ$) nahezu decken. Das bedeutet, daß die auftretende Widerstandserhöhung bei der Erzeugung einer bestimmten Querkraft mit und ohne Kiel etwa

gleich ist, mit Kiel sind die erforderlichen Anströmwinkel (Driftwinkel) aber kleiner.

"Mariner" auf Konstruktionstiefgang T_1 (Abb. 8):

Eine Erhöhung der Froudezahl hatte wiederum eine (schwächere) Verminderung von c_C und eine (stärkere) Verringerung von c_{DC} im Bereich kleiner Driftwinkel zur Folge. Sehr deutlich ist auch die Druckpunktwanderung nach vorn bei steigender Froudezahl zu erkennen.

"Mariner" auf größerem Tiefgang T_2 (Abb. 9):

Der F_n-Einfluß (in diesem Fall wurden 3 F_n untersucht) auf c_C und c_{DC} ist hier verhältnismäßig groß. Der Querkraftbeiwert c_C sinkt zunächst mit steigender Froudezahl und wird dann wieder größer, während c_{DC} eine deutlich sinkende Tendenz hat. Der Druckpunkt wandert wiederum mit steigender Froudezahl nach vorn.

Ein Vergleich mit den Beiwerten für den kleineren Tiefgang T_1 zeigt eine beträchtliche Querkraftbeiwert-Erhöhung aufgrund des größeren Rumpfseitenverhältnisses Λ. Da der Querkraftwiderstandsbeiwert c_{DC} annähernd gleich ist, hat also der Rumpf mit dem größeren Tiefgang eine wesentlich günstigere Gleitzahl ϵ_{CH}.

Zusammenfassung

Einfluß eines Balkenkiels: Erhöhung der Querkraft im gesamten untersuchten Winkelbereich, sowie des Querkraftwiderstandes für größere Driftwinkel. Ohne Kiel liegt bei kleinen Driftwinkeln der Druckpunkt weiter hinten.

Einfluß des Seitenverhältnisses $\Lambda = 2T/L_{pp}$: Mit wachsendem Λ wird für gleiche Driftwinkel der Querkraftbeiwert c_C ebenfalls größer. Da der Einfluß von Λ auf den Querkraftwiderstandsbeiwert c_{DC} geringer ist, wird mit wachsendem Λ i.a. die "Rumpfpolare" günstiger.

Einfluß des Ruderlegens: Ein Ruderwinkel δ_R hat eine mit dem Driftwinkel wachsende Vergrößerung von c_C und c_{DC} sowie eine starke Druckpunktwanderung nach hinten zur Folge.

Einfluß der Froudezahl: Der stärkste Einfluß ist auf die Druckpunktlage zu erkennen: Der Druckpunkt wandert mit steigender Froudezahl nach vorn. Der Querkraftwiderstandsbeiwert nimmt dagegen ab. Geringer und nicht so eindeutig ist der Froudezahleinfluß auf die Querkraftbeiwerte.

Die soeben qualitativ beschriebenen Tendenzen sollen im nächsten Abschnitt noch weiter untersucht werden. Aus diesem Grunde wurden die Versuchsergebnisse nach bekannten und neu vorgeschlagenen Ansätzen analysiert.

7. Analyse der Schrägschleppversuche

7.1. Kräfte am Schiffsrumpf

Unterwasserschiffe sind Körper sehr kleinen Seitenverhältnisses. Die gewöhnlich in der Aero- und Hydrodynamik benutzten Ansätze für Körper kleinen Seitenverhältnisses, die z.B. bei Schiffsrudern gute Dienste leisten, wird man für Unterwasserschiffe nur bedingt verwenden können (vgl. [5]). Da die zu betrachtenden Driftwinkel klein sind, kann man für $\sin\beta = \beta$ und für $\cos\beta = 1{,}00$ setzen und erhält:

$$c_C = c_1 \cdot \beta + c_2 \cdot \beta^2 \qquad (1) \quad \text{Querkraftbeiwert}$$

$$c_{DC} = d_1' \cdot \beta^2 + d_2' \cdot \beta^3 \qquad (2) \quad \text{Querkraftwiderstandsbeiwert}$$

In den Ansätzen werden also ein lineares und ein quadratisches Glied (Querkraftbeiwert) bzw. ein quadratisches und ein kubisches Glied (Querkraftwiderstandsbeiwert) benutzt.

Die nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durchgeführte Ausgleichsrechnung ergab für Ansatz (1) eine gute Wiedergabe der Modellversuchsergebnisse. Die Querkraftbeiwerte lassen sich also

auch für die hier vorliegenden sehr kleinen Seitenverhältnisse $\Lambda = 0{,}102$ bis $0{,}155$ durch ein lineares und ein quadratisches Glied darstellen.

Eine ähnliche Analyse für c_{DC} nach Ansatz (2) führte zu wesentlich schlechteren Ergebnissen: besonders im Bereich kleiner β lassen sich die Querkraftwiderstandsbeiwerte nicht nach Ansatz (2) annähern, sie liegen wesentlich oberhalb der aus dem Ansatz gewonnenen Werte. Der Ansatz ist also wenig geeignet zur Darstellung der Versuchsergebnisse im Bereich kleiner Driftwinkel.

<u>Geänderter Ansatz für c_{DC}</u>

Der wesentliche Teil der Widerstandserhöhung bei Schräganströmung ist "induzierter Widerstand":

$$c_{Di} = \frac{c_C^{\,2}}{\pi \cdot \Lambda} \quad ; \quad \text{nach (1) ist} \quad c_C^{\,2} = c_1^{\,2} \cdot \beta^2 + 2c_1c_2 \cdot \beta^3 + c_2^{\,2} \cdot \beta^4 \ ,$$

danach ist

$$c_{Di} = d_1' \cdot \beta^2 + d_2' \cdot \beta^3 + d_3' \cdot \beta^4 \ ;$$

läßt man das Glied 4. Grades weg, so ist Übereinstimmung mit Ansatz (2) gegeben.

Die Gleitzahl der Kräfte am Unterwasserschiff ist

$$\epsilon_{CH} = \frac{c_{DC}}{c_C} = \frac{c_C}{\pi \cdot \Lambda} \ .$$

Bei Gültigkeit von Ansatz (2) müßte das Verhältnis c_{CH} zu $\frac{c_C}{\Lambda}$ für alle β konstant sein, und folglich müßte die Darstellung von ϵ_{CH} über c_C/Λ eine durch den Koordinatenursprung gehende Gerade ergeben.

Für einige veröffentlichte Modellversuchsergebnisse ([6] bis [10]) ist in Abb. 11 ϵ_{CH} über c_C/Λ für verschiedene Driftwinkel β aufgetragen worden. Die eingetragenen Meßpunkte, die zu sehr unterschied-

lichen Modellen gehören und teilweise auch Windkanalversuchsergebnisse darstellen, zeigen eine erstaunlich geringe Streuung.

Man kann die Beziehung $\epsilon_{CH} = f(c_C/A)$ im Bereich nicht zu kleiner Driftwinkel ($\beta > 2^o$) recht gut durch eine Gerade annähern, die allerdings nicht durch den Nullpunkt geht, sondern auf der Ordinatenachse einen bestimmten Betrag (vgl. Abb. 11) abschneidet. In Wirklichkeit handelt es sich um eine Kurve, die für sehr klein β nach Null läuft. Im Bereich kleiner Driftwinkel ist die Meßgenauigkeit gering, da es sich dann bei dem Querkraftwiderstandsbeiwert c_{DC} um sehr kleine Beträge handelt.

Das eben Gesagte wird auch durch die in Abb. 12 dargestellten Meßergebnisse dieses Berichtes gezeigt, wo ebenfalls die "Gleitzahl" ϵ_{CH} über c_C/A aufgetragen wurde. Hier ist die auf unterschiedliche Froudezahl zurückzuführende Streuung der Meßwerte größer als diejenige von Modell zu Modell. Die stärkere Streuung im Bereich kleiner Driftwinkel (kleine Werte c_C/A) erklärt sich durch die niedrige Meßgenauigkeit in diesem Bereich. Man kann für die einzelnen Modelle wiederum die Meßpunkte gut durch eine Gerade annähern, die die Steigung k_2 hat und auf der ϵ_{CH}-Achse den Betrag k_1 abschneidet:

$$\epsilon_{CH} = k_1 + k_2 \cdot \frac{c_C}{A} \qquad (3)$$

Man erhält für den Querkraftwiderstandsbeiwert:

$$c_{DC} = \epsilon_{CH} \cdot c_C = k_1 \cdot c_C + k_2 \cdot \frac{c_C^2}{A} \qquad (4)$$

Aus Ansatz (1) erhält man

$$c_C = c_1 \cdot \beta + c_2 \cdot \beta^2$$

$$c_C^2 = c_1^2 \cdot \beta^2 + 2c_1 \cdot c_2 \cdot \beta^3 + c_2^2 \cdot \beta^4 \quad ,$$

eingesetzt in (4):

$$c_{DC} = c_1 \cdot k_1 \cdot \beta + (c_2 \cdot k_1 + \frac{c_1^2 \cdot k_2}{A}) \cdot \beta^2 + \frac{2c_1 \cdot c_2 \cdot k_2}{A} \cdot \beta^2 + \frac{c_2^2 \cdot k_1}{A} \cdot \beta^4 \qquad (4a)$$

Man bekommt also den geänderten Ansatz für c_{DC}

$$c_{DC} = d_1 \cdot \beta + d_2 \cdot \beta^2 + d_3 \cdot \beta^3 + d_4 \cdot \beta^4 \qquad (4b)$$

mit den Koeffizienten

$$\begin{aligned} d_1 &= c_1 \cdot k_1 \\ d_2 &= c_2 \cdot k_1 + \frac{c_1^2 \cdot k_2}{\Lambda} \\ d_3 &= \frac{2c_1 \cdot c_2 \cdot k_2}{\Lambda} \\ d_4 &= \frac{c_2^2 \cdot k_2}{\Lambda} \end{aligned} \qquad (5)$$

Verglichen mit dem Ansatz (2) ist bei (4b) noch ein lineares Glied hinzugekommen. Ferner wird das Glied 4. Grades nich vernachlässigt.

Die Versuchsergebnisse wurden nach den Ansätzen (1) und (3) analysiert. Aus den ermittelten Faktoren c_1, c_2, k_1, k_2 lassen sich die Koeffizienten der Gl. (4b) nach (5) ermitteln. Diese Verfahrensweise ist aus systematischen Gründen der direkten Analyse nach (4b) vorzuziehen und läßt sich auch graphisch besser realisieren. Es liefert nicht zu stark streuende Ergebnisse. Die direkte Analyse nach (4b) ergibt zwar eine größere Genauigkeit der Annäherung an den Kurvenverlauf, die gewonnenen Koeffizienten streuen aber stark nach Größe und Vorzeichen und lassen keine Gesetzmäßigkeit erkennen.

Nach Gleichung (4a) ist eine im gesamten betrachteten Driftwinkelbereich gute Darstellung der Versuchsergebnisse möglich. Eine Ausgleichsrechnung unter Vernachlässigung des Gliedes 4. Grades ergibt ebenfalls eine gute Annäherung an die Meßpunkte, jedoch stark streuende Koeffizienten.

Vergleichsweise wurden auch die oben zitierten und in Bild 11 dargestellten Ergebnisse anderer Messungen nach den gewählten Ansätzen (1) und (3) analysiert. Außerdem wurden für die Koeffizienten k_1 und k_2 verschiedene Mittelwerte berechnet.
Die ermittelten Koffizienten sind zusammen mit den wichtigsten interessierenden Modelldaten in der Übersicht Seite 14 zusammengestellt.

Übersicht: Ergebnisse der Ausgleichsrechnungen

Modell	$A=\frac{2T}{L_{pp}}$	$\frac{L_{pp}}{B}$	δ	β				Froude #		c_1	c_2	k_1	k_2	d_1	d_2	d_3	d_4
Viermastbark mit Kiel	0,150	6,71	0,69	0,91	X	X	-	0,155	-	0,227	1,165	0,146	0,172	0,0332	0,2295	0,608	1,559
	0,150	"	"	"	X	X	-	0,203	-	0,211	1,247	0,123	0,163	0,0260	0,2020	0,572	1,688
ohne Kiel	0,142	6,71	0,69	0,91	-	X	-	0,155	-	0,268	0,501	0,143	0,228	0,0383	0,1868	0,431	0,403
	0,142	"	"	"	-	X	-	0,203	-	0,205	0,717	0,170	0,141	0,0349	0,1636	0,292	0,510
Frachter "Mariner" T_1	0,102	6,95	0,60	0,98	-	-	-	0,155	-	0,212	0,494	0,110	0,221	0,0234	0,1520	0,454	0,529
	0,102	"	"	"	-	-	-	0,203	-	0,198	0,507	0,135	0,194	0,0268	0,1433	0,382	0,489
"Mariner" T_2	0,122	6,95	0,62	0,98	-	-	-	0,155	-	0,169	0,775	0,164	0,146	0,0277	0,1611	0,313	0,719
	0,122	"	"	"	-	-	-	0,203	-	0,210	0,626	0,118	0,176	0,0248	0,1374	0,379	0,565
	0,122	"	"	"	-	-	-	0,279	-	0,210	0,727	0,073	0,190	0,0153	0,1217	0,476	0,822
Frachter "Serie 60"[9]	0,107	7,50	0,60	0,98	-	-	-	0,20÷0,24	-	0,213	0,976	0,032	0,357	0,0067	0,1815	1,384	3,179
Forschungssch. "Meteor" [10]	0,138	5,39	0,54	0,88	-	X	-	$-1{,}76\cdot10^6$		0,173	0,772	0,063	0,278	0,0108	0,1097	0,546	1,217
Tanker [8]	0,1057	6,91	0,75	0,99	-	-	-	0,160	-	0,244	0,880	0,089	0,214	0,0216	0,1980	0,867	1,567
Schoner-brigg [6]	0,248	4,15	0,57	-	X	X	-	$-1{,}01\cdot10^6$		0,284	1,322	0,073	0,244	0,0206	0,1754	0,740	1,722
Strandboot[6]	0,186	3,72	-	-	X	X	X	$-1{,}01\cdot10^6$		0,287	0,995	0,014	0,399	0,0039	0,1908	1,226	2,122
Barkasse (HSVA) [7]	0,161	4,61	0,38	-	X	X	X	0,179	-	0,239	1,840	0,048	0,290	0,0115	0,1913	1,583	6,085

Mittelwerte:

		k_1	k_2
alle Messungen	(F_n = 0,155)	0,144 (0,202)	0,185 (0,104)
" "	(F_n = 0,203)	0,054 (0,142)	0,281 (0,159)
" "		0,099 (0,171)	0,233 (0,133)
Messungen nach [6] bis [10]		0,062	0,266
eigene Messungen und Messungen nach [6] bis [10]		0,083	0,248

Bemerkung:
Klammerwerte ohne $\varepsilon = 2^\circ, 20^\circ$

1. <u>Analyse der Querkraftbeiwerte</u> (nach Ansatz (1)):

$$c_C = c_1 \cdot \beta + c_2 \cdot \beta^2$$

Die Aufspaltung der Querkraftbeiwerte in einen linearen ("Wasserlinien-") Anteil und einen quadratischen ("Spant"-) Anteil ist mit guter Genauigkeit möglich. Die Koeffizienten beider Anteile hängen hauptsächlich von folgenden Größen ab: Seitenverhältnis Λ, Längen-Breiten-Verhältnis L_{pp}/B, Rumpf- und Hauptspantform (β, Aufkimmung, Balkenkiel, Schlingerkiele, Kielfall), Versuchsmethode ("Medium"), Froudezahl.

Der <u>Koeffizient des Linearanteils</u> c_1 weist eine mit Λ steigende Tendenz auf, c_1 läßt sich recht gut mit dem aus der Theorie abgeleiteten Wert $c_1 = \frac{\pi}{2} \cdot \Lambda$ darstellen (vgl. [4]). Der Einfluß von L/B und Hauptspantform scheint sekundär zu sein. Von größerem Einfluß auf c_1 ist dagegen die Froudezahl. Im allgemeinen wird c_1 mit wachsender Froudezahl kleiner.

Der <u>Koeffizient des quadratischen Gliedes</u> c_2 wird ebenfalls mit Λ größer. Hier ist allerdings der Einfluß der Hauptspantform größer: z.B. wird durch Anbringen eines Balkenkiels beim Seglerrumpf c_2 etwa verdoppelt. Die in [5] gegebene Näherungsformel

$$c_2 \approx c_{DC\infty} \cdot (1 + 0{,}82 \cdot /\Lambda)$$

ergibt im gesamten Λ-Bereich zu hohe Koeffizienten, auch wenn für die Querwiderstandsbeizahl $c_{DC\infty} = 1{,}00$ gesetzt wird (bei $\Lambda = 0$ gilt $c_{DC\infty} = 1{,}00$ (2,00) für runde (scharfkantige) Körper). Mit wachsender Froudezahl wird c_2 größer, während c_1 kleiner geworden war. Das bedeutet, daß für große Froudezahlen bei kleinen Driftwinkeln zunächst kleinere Querkraftbeiwerte auftreten, bei mittleren bis großen Driftwinkeln verschwindet diese Differenz aber oder wird kleiner, bedingt durch den größeren Faktor des quadratischen Gliedes.

2. Analyse der Querkraftwiderstandsbeiwerte c_{DC}

Diese Analyse erfolgte zweckmäßigerweise (s.o.!) über die Ermittlung der Faktoren k_1 und k_2 nach Ansatz (3). Die Koeffizienten d_1 bis d_4 in der Gleichung (4b) werden dann nach (5) ermittelt.

Die durch Ausgleichsrechnung gewonnenen Werte k_1 und k_2 sind in der Übersich Seite 14 mit enthalten. Wie erwähnt, ist der Froudezahleinfluß auf k_1 und k_2 größer als die Abhängigkeit vom Schiffstyp. Verwendet man für die Ausgleichsrechnung nicht die Meßergebnisse für sehr große Driftwinkel ($\beta = 20^o$) bzw. sehr kleine Driftwinkel ($\beta = 2^o$, geringe Meßgenauigkeit), so erhält man ebenfalls abweichende Koeffizienten k_1 und k_2. Wie aus den in der Übersicht angegebenen Mittelwerten für k_1 und k_2 ersichtlich ist, wird k_1 mit wachsender Froudezahl kleiner, während k_2 größer wird. Berücksichtigt man die Meßwerte für $\beta = 2^o$ und 20° bei der Auswertung nicht, so werden die Koeffizienten k_1 größer, während man kleinere Werte k_2 erhält (Klammerwerte in der Übersicht).

Kann man zur Berechnung von c_{DC} nicht die Koeffizienten d_1 bis d_4 von einem passenden untersuchten Modell übernehmen, so empfiehlt es sich immer, zuerst Annahmen für die Werte k_1 und k_2 treffen, z.B. nach den angegebenen Mittelwerten unter Berücksichtigung der Froudezahl. Die Faktoren d_1 bis d_4 können dann mit guter Genauigkeit mit Hilfe von c_1, c_2, k_1 und k_2 nach (5) berechnet werden.

In Gl. (4b) kann das Glied 4. Grades nicht vernachlässigt werden, da der Koeffizient d_4 verhältnismäßig groß ist (s. Übersicht Seite 14). Zu den Koeffizienten der vergleichsweise angegebenen Ergebnisse anderer Versuch ([6] bis [10]) ist zu bemerken, daß teilweise nur der Winkelbereich bis $\beta = 10^o$ erfaßt ist, was verhältnismäßig kleine Werte k_1 und größere Werte k_2 ergab.

7.2. Einfluß des Ruderwinkels δ_R

Die Versuche wurden ohne Propeller durchgeführt. Die Ruderanströmgeschwindigkeit, die die Ruderkraft stark beeinflußt, hängt vom Nachstrom des Schiffsrumpfes ab. Dieser wiederum ist am Ort des Ruders vom Driftwinkel abhängig. Man kann für die Ruderanströmgeschwindigkeit setzen:

$$V_R = V(w_1 + w_2 \cdot \beta) \qquad (6)$$

Der Einfluß der Umlenkwirkung des Rumpfes auf dem effektiven Anströmwinkel des Ruders ist in den Versuchen mit $\delta_R = 0^o$ schon enthalten, so daß Zusatzwiderstand und Zusatzquerkraft infolge Ruderlage als Funktion des Ruderwinkels δ_R angegeben werden können.

Vereinfachend wird für den Anstieg der Querkraft mit δ_R ein linearer, und entsprechend für den Widerstand ein quadratischer Ansatz gewählt:

$c_{CR}' = a_1 \cdot \delta_R$ Ruderquerkraftbeiwert

$c_{DR}' = a_2 \cdot \delta_R^2$ Ruderwiderstandsbeiwert

Für Ruderquerkraft und Ruderwiderstand ergeben sich dann:

$$C_R = c_{CR}' \cdot \frac{\rho}{2} V_R^2 \cdot L_{pp} \cdot T = a_1 \cdot \delta_R \cdot \frac{\rho}{2} V^2 (w_1^2 + 2 w_1 w_2 \cdot \beta + w_2^2 \cdot \beta^2) L_{pp} T \qquad (7)$$

$$D_R = a_2 \cdot \delta_R^2 \cdot \frac{\rho}{2} V^2 (w_1^2 + 2 w_1 w_2 \cdot \beta + w_2^2 \cdot \beta^2) \cdot L_{pp} \cdot T \qquad (8)$$

Zusatzquerkraft und Zusatzwiderstand durch das Ruder, bezogen auf "Lateralfläche" $L_{pp} \cdot T$ und Schiffsgeschwindigkeit V werden

$$c_{CR} = c_{R1} \cdot \delta_R + c_{R2} \cdot \delta_R \cdot \beta + c_{R3} \cdot \delta_R \cdot \beta^2 \qquad (9)$$

$$c_{DR} = d_{R1} \cdot \delta_R^2 + d_{R2} \cdot \delta_R^2 \cdot \beta + d_{R3} \cdot \delta_R^2 \cdot \beta^2 \qquad (10)$$

Schrägschleppversuche bei verschiedenen Ruderlagen wurden für den Seglerrumpf mit Balkenkiel durchgeführt. Mit den Meßergebnissen für c_{CR} und c_{DR} wurde eine Ausgleichsrechnung durchgeführt, mit und ohne die β^2-Glieder. Es ergaben sich die in der folgenden Übersicht zusammengestellten Koeffizienten:

F_n	c_{R1}	c_{R2}	c_{R3}	d_{R1}	d_{R2}	d_{R3}	
0,155	0,0346	-0,135	0,720	0,0242	-0,205	1,691	mit β^2 -
0,203	0,0336	0,096	-0,033	0,0229	-0,200	2,412	Gliedern
0,155	0,0277	0,0527	-	0,0079	0,237	-	ohne β^2 -
0,203	0,0339	0,0873	-	-0,0003	0,430	-	Glieder

Während zur Darstellung des Zusatzquerkraftbeiwertes Δc_C das Glied $c_{R3} \cdot \delta_R \cdot \beta^2$ entfallen kann, ist zur besseren Darstellung des Zusatzwiderstandsbeiwertes c_{DR} das Glied $d_{R3} \cdot \delta_R^2 \cdot \beta^2$ erforderlich.

SUMMARY

8. Zusammenfassung

The present report contains the results of inclined towing attempts with 2 m models of a sailship with + without keel and a Mariner hull with 2 drafts. Examined the influence of the keel, mainframe shape, Aspect RATIO, rudder angle, Froude No. on the force coefficients and yaw moments of the underwater hull. Transverse forces are increased by the bar keel and increasing aspect ratio.

Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse von Schrägschleppversuchen mit 2 m - Modellen eines Seglers (mit und ohne Kiel) und des "Mariner" (auf 2 Tiefgängen). Untersucht und erläutert wurde der Einfluß von Balkenkiel, Hauptspantform, Seitenverhältnis, Ruderlage und Froudezahl auf die Größe der Kraftbeiwerte und des Giermomentes der Unterwasserschiffe. Querkrafterhöhend wirken sich ein Balkenkiel und eine Vergrößerung des Seitenverhältnisses aus. Der Einfluß auf den Querkraftwiderstand ist geringer, so daß durch diese Maßnahmen günstigere Gleitzahlen (Querkraftwiderstand/Querkraft) erzielt werden. Ein Ruderwinkel bewirkt eine Erhöhung von Querkraft und Querkraftwiderstand, vor allem aber eine Druckpunktverschiebung nach hinten. Verhältnismäßig groß ist auch der Einfluß der Froudeschen Zahl: Der Querkraftwiderstandsbeiwert nimmt mit steigender Froudezahl ab, während der Druckpunkt sich nach vorn verschiebt.

The influence on the transverse force resistance is smaller so that more favorable glide ratios can be achieved (LIFT/DRAG better?) drag due to side force / side force / rudder angle causes an increase in LIFT force + DRAG DUE TO LIFT, but above all a shift of center of pressure to the rear. The influence of the Froude number is also very large. the DRAG DUE TO LIFT coefficient decreases with increasing Froude #, while the center of pressure moves forward

Die Analyse der Versuchsergebnisse nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate ergab, daß sich die Querkraftbeiwerte gut durch ein lineares und ein quadratisches Glied in Abhängigkeit vom Driftwinkel darstellen lassen. Demgegenüber ist die Darstellung des Querkraftwiderstandsbeiwertes durch ein quadratisches und ein kubisches Glied für kleinere Driftwinkel unbefriedigend. Eine bedeutende Verbesserung wurde durch Hinzufügen eines linearen Gliedes erzielt. Aus systematischen Gründen wird empfohlen, bei der Analyse von einer Auftragung der Gleitzahlen der Kräfte am Überwasserschiff über den zugehörigen Werten c_C/Λ auszugehen. Es ergibt sich dann bei der Darstellung der Querkraftwiderstandsbeizahlen auch ein Glied 4. Grades.

9. Symbolübersicht

L_{pp}.....Länge zwischen den Loten

B.....Breite

T.....Tiefgang

∇.....Volumenverdrängung

δ.....Völligkeitsgrad der Verdrängung

A_L.....Lateralfläche des Unterwasserschiffes

$\Lambda = 2 \cdot T/L_{pp}$....Seitenverhältnis des Unterwasserschiffes HULL ASPECT RATIO

V, V_R.....Anströmgeschwindigkeiten von Schiff bzw. Schiffsruder

F_n.....Froudezahl $F_n = V/\sqrt{g \cdot L_{pp}}$, (g....Erdbeschleunigung)

R_n.....Reynoldszahl $R_n = V \cdot L_{pp}/\nu$ (ν....kinematische Zähigkeit des Wassers)

β.....Driftwinkel

δ_R.....Ruderlegewinkel

F_T.....Kraft auf das Unterwasserschiff

C.....Kraftkomponente senkrecht zur Anströmrichtung ("Querkraft")

D.....Kraftkomponente in Anströmrichtung ("Widerstand")

D_o.....Widerstand bei Geradeausfahrt ohne Abtrift

D_C.....Widerstandserhöhung bei Schräganströmung (Querkraftwiderstand)

D_R.....Widerstandserhöhung bei Ruderlage δ_R

D_i.....induzierter Widerstand

X.....Kraftkomponente in Schiffslängsrichtung ("Längskraft")

Y.....Kraftkomponente senkrecht zur Schiffslängsrichtung ("Seitenkraft")

c_{FT}, c_C, c_D, c_{DO},

c_{DC}, c_{DR}, c_X, c_Y..dimensionslose Beiwerte der Kraftkomponenten und Widerstandsanteile bezogen auf den Staudruck q und die Lateralfläche $A_L = L_{pp} \cdot T$

yaw moment about mid point of ship

$c_N = \frac{N}{\frac{1}{2}\rho V^2 L_{pp} \cdot T} \cdot L_{pp}$?

yaw moment based on $L_{pp}/2$ (in other words about mid point of Long. Length)

N.....Giermoment bezüglich $L_{pp}/2$

yaw mom. coeff. based on q and Lat. Area $= A_L = L_{pp} \cdot T$

c_N.....Giermomentenbeiwert, bezogen auf Staudruck q, Lateralfläche $A_L = L_{pp} \cdot T$ und Länge L_{pp}

$q = \frac{\rho}{2} \cdot V^2$.....Staudruck der Anströmgeschwindigkeit (ρ....Dichte des Wassers)

x_P.....Druckpunktlage der Rumpfseitenkraft bezogen auf Momenten-Nullpunkt ($L_{pp}/2$)

e.....Druckpunktlage der Rumpfseitenkraft hinter dem vorderen Lot

$c_{CH} = D_C/C$.....Gleitzahl der Kräfte am Unterwasserschiff

c_1, c_2.....Koeffizienten der Glieder 1. und 2. Grades für den Querkraftbeiwert

$d_1 - d_4$.....Koeffizienten der Glieder 1. bis 4. Grades für den Querkraftwiderstandsbeiwert

k_1, k_2.....Koeffizienten zur Darstellung der Gleitzahl der Kräfte am Unterwasserschiff als Funktion von c_C/A

w_1, w_2.....Koeffizienten zur Berücksichtigung des Nachstromeinflusses auf die Ruderanströmgeschwindigkeit V_R

$c_{R1} - c_{R3}$.....Koeffizienten zur Darstellung von c_{CR} als Funktion von δ_R und β

$d_{R1} - d_{R3}$.....Koeffizienten zur Darstellung von c_{DR} als Funktion von δ_R und β

10. Schrifttum

[1] Wagner, B.: "Fahrtgeschwindigkeitsberechnung für Segelschiffe", IfS-Bericht Nr. 132 (1967), Jahrb. der STG 61 (1967).

[2] Wagner, B.: "Windkräfte an Überwasserschiffen", Jahrb. STG 61 (1967).

[3] Johow-Foerster: "Hilfsbuch für den Schiffbau", 4. Auflage, Verlag von Julius Springer, Bd. II, Tafel VI.

[4] Russo und Sullivang: "Design of the Mariner-Type Ship", SNAME

[5] Thieme, H.: "Über strömungstechnische Grundlagen zur Bestimmung von Steuereigenschaften", Schiff und Hafen 6 (1954), S. 510.

[6] Frey, K.: "Theorie des Segelns mit Abtriftberücksichtigung", Jahrb. der STG (1933), S. 228.

[7] Thieme, H.: "Schrägschleppversuche mit einem geraden und einem gekrümmten Barkassenmodell", Schiff und Hafen, 8 (1956), Heft 4.

[8] Bülow, H.: "Hydrodynamische Untersuchungen zur Bestimmung von Stabilitätskriterien stationär bewegter Körper", IfS-Bericht Nr. 108

[9] Eda, H. und Crane, C.L.: "Steering Characteristics of Ships in Calm Water and Waves", Transact. SNAME (1965).

[10] Wagner, B.: "Windkanalversuche mit dem Modell des Forschungsschiffes METEOR", IfS-Bericht Nr. 153 (1966).

Anhang

Schleppversuchsergebnisse für den Segler-Rumpf mit und ohne Krängung

Die Versuche wurden im Schlepptank der Ingenieurschule Hamburg am Berliner Tor durchgeführt, mit den Krängungen $\varphi = 0^{\circ}$ und 10°.

Versuchsdaten:

Tankabmessungen:	Länge 40 m Breite 6,5 m Tiefe 2 m
Schleppgeschwindigkeiten:	0,38 bis 1,27 m/s
Froudezahlen F_n:	0,087 bis 0,286
Meßmethode:	Pendeldraht mit Vorgewichten
Turbulenzerreger:	Perlondraht auf Spant 9 1/2

Modellabmessungen: Vgl. Abschnitt 3; es wurde das vollständige Modell mit Balkenkiel untersucht.

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 7 enthalten und in Bild 13 in dimensionsloser Form dargestellt. Es zeigt sich, daß die hier untersuchte Krängung von $\varphi = 10^{\circ}$ nur von geringem Einfluß auf den Widerstand ist.

Zum besseren Vergleich mit den Widerstandsbeiwerten der Tabellen 1 bis 6 sind die Widerstandsbeiwerte - abweichend von der üblichen Normierung - auf die Fläche $L_{pp} \cdot T$ bezogen.

Der Einfluß des Turbulenzerregers auf den Widerstand ist korrigiert.

$L = \frac{1}{2}\rho v^2 A c_c$ $D = \frac{1}{2}\rho v^2 A (c_D + c_{DC})$

$A = \text{Draft} * L_{pp}$

Reflects reflection

Tab. 1.1: Viermastbark mit Kiel

AR

rudder angle

$$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}150 \; ; \quad \delta_R = 0^\circ \; ; \quad F_n = 0{,}155$$ Froude

Leeway angle to incoming current

ε	c_C Lift coeff. perp to incoming cur.	c_D Drag coeff. parallel to incoming flow	c_{DC} Inclined Drag	c_N	e/L_{pp} Dist bow to hull C.E
0	0,0000	0,01667	0,00000	0,00000	–
2	0,0118	0,01830	0,00163	0,00428	0,154
5	0,0301	0,02288	0,00621	0,01001	0,187
7	0,0458	0,02549	0,00882	0,01318	0,228
10	0,0745	0,03333	0,01667	0,01667	0,289
12	0,0974	0,04216	0,02549	0,01846	0,323
15	0,1386	0,06111	0,04444	0,02056	0,363
20	0,2222	0,10359	0,08693	0,02304	0,406

C.E moves aft at higher drift angles

Tab. 1.2: Viermastbark mit Kiel

$$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}150 \; ; \quad \delta_R = 0^\circ \; ; \quad F_n = 0{,}203$$

ε	c_C	c_D	c_{DC}	c_N	e/L_{pp}
0	0,0000	0,01699	0,00000	0,00000	–
2	0,0098	0,01830	0,00131	0,00412	0,105
5	0,0288	0,02157	0,00458	0,01032	0,162
7	0,0444	0,02484	0,00784	0,01363	0,211
10	0,0739	0,03105	0,01405	0,01724	0,279
12	0,0980	0,03987	0,02288	0,01882	0,319
15	0,1418	0,05588	0,03889	0,02099	0,361
20	0,2255	0,10065	0,08366	0,02567	0,396

Tab. 2: Viermastbark mit Kiel

$$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}150 \; ; \quad \delta_R = 10^{\circ} \; ; \quad F_n = 0{,}155$$

ϵ	c_C	c_D	c_{DC}	c_N	e/L_{pp}
0	0,0072	0,01699	0,00000	-0,00185	0,757
2	0,0137	0,01961	0,00261	0,00166	0,385
5	0,0294	0,02288	0,00588	0,00678	0,283
7	0,0458	0,02614	0,00915	0,00984	0,297
10	0,0765	0,03725	0,02026	0,01300	0,341
12	0,1020	0,04510	0,02810	0,01434	0,369
15	0,1451	0,06340	0,04641	0,01548	0,401

Tab. 3.1: Viermastbark mit Kiel

$$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}150 \; ; \quad \delta_R = 20^\circ \; ; \quad F_n = 0{,}155$$

ϵ	c_C	c_D	c_{DC}	c_N	e/L_{pp}
0	0,0124	0,01961	0,00000	-0,00413	0,833
2	0,0203	0,02222	0,00261	-0,00046	0,522
5	0,0386	0,02484	0,00523	0,00379	0,407
7	0,0569	0,02876	0,00915	0,00607	0,399
10	0,0902	0,03922	0,01961	0,00877	0,408
12	0,1157	0,04902	0,02941	0,00984	0,420
15	0,1562	0,06993	0,05033	0,01036	0,439

Tab. 3.2: Viermastbark mit Kiel

$$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}150 \; ; \quad \delta_R = 20^\circ \; ; \quad F_n = 0{,}203$$

ϵ	c_C	c_D	c_{DC}	c_N	e/L_{pp}
0	0,0118	0,01961	0,00000	-0,00306	0,760
2	0,0209	0,02222	0,00261	0,00028	0,487
5	0,0425	0,02484	0,00523	0,00503	0,387
7	0,0595	0,02876	0,00915	0,00739	0,382
10	0,0922	0,03856	0,01895	0,00996	0,398
12	0,1176	0,05098	0,03137	0,01115	0,411
15	0,1601	0,07190	0,05229	0,01191	0,431

Tab. 4.1: Viermastbark ohne Kiel

$$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}142 \; ; \quad \delta_R = 0^o \; ; \quad F_n = 0{,}155$$

ε	c_C	c_D	c_{DC}	c_N	e/L_{pp}
0	0,0000	0,01761	0,00000	0,00000	-
2	0,0131	0,01795	0,00035	0,00329	0,261
5	0,0290	0,02624	0,00863	0,00802	0,243
7	0,0400	0,02831	0,01070	0,01062	0,254
10	0,0608	0,03279	0,01519	0,01363	0,292
12	0,0773	0,03659	0,01899	0,01544	0,314
15	0,1043	0,04902	0,03141	0,01814	0,340
20	0,1553	0,07664	0,05903	0,02198	0,372

Tab. 4.2: Viermastbark ohne Kiel

$$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}142 \; ; \quad \delta_R = 0^o \; ; \quad F_n = 0{,}203$$

ε	c_C	c_D	c_{DC}	c_N	e/L_{pp}
0	0,0000	0,01795	0,00000	0,00000	-
2	0,0097	0,01381	-0,00414	0,00262	0,242
5	0,0242	0,02209	0,00414	0,00805	0,190
7	0,0352	0,02624	0,00829	0,01099	0,212
10	0,0573	0,03107	0,01312	0,01424	0,270
12	0,0746	0,03521	0,01726	0,01648	0,295
15	0,1029	0,04626	0,02831	0,02090	0,312
20	0,1574	0,07249	0,05454	0,02726	0,342

Tab. 5.1: "Mariner", $T_1 = 0{,}103$ m

$$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}102 \; ; \quad \delta_R = 0^o \; ; \; F_n = 0{,}155$$

ε	c_C	c_D	c_{DC}	c_N	e/L_{pp}
0	0,0000	0,01892	0,00000	0,00000	
2	0,0090	0,01987	0,00095	0,00329	0,160
5	0,0232	0,02318	0,00426	0,00782	0,189
7	0,0331	0,02413	0,00520	0,01045	0,208
10	0,0511	0,03122	0,01230	0,01402	0,248
12	0,0662	0,03690	0,01798	0,01647	0,273
15	0,0894	0,04636	0,02744	0,02028	0,294
20	0,1344	0,07096	0,05204	0,02785	0,315

Tab. 5.2: "Mariner", $T_1 = 0{,}103$ m

$$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}102 \; ; \quad \delta_R = 0^o \; ; \quad F_n = 0{,}203$$

ε	c_C	c_D	c_{DC}	c_N	e/L_{pp}
0	0,0000	0,01892	0,00000	0,00000	-
2	0,0090	0,01987	0,00095	0,00364	0,124
5	0,0222	0,02318	0,00426	0,00829	0,157
7	0,0317	0,02460	0,00568	0,01114	0,177
10	0,0492	0,03028	0,01135	0,01502	0,220
12	0,0634	0,03501	0,01608	0,01764	0,245
15	0,0870	0,04542	0,02649	0,02152	0,275
20	0,1325	0,08894	0,07002	0,03135	0,298

Tab. 6.1: "Mariner", $T_2 = 0{,}123$ m

$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}122$; $\delta_R = 0^o$; $F_n = 0{,}155$

ε	c_C	c_D	c_{DC}	c_N	e/L_{pp}
0	0,0000	0,01762	0,00000	0,00000	-
2	0,0095	0,01793	0,00031	0,00443	0,061
5	0,0221	0,02355	0,00593	0,00960	0,101
7	0,0328	0,02670	0,00908	0,01262	0,148
10	0,0529	0,03035	0,01273	0,01665	0,190
12	0,0687	0,03440	0,01678	0,01940	0,239
15	0,0948	0,04425	0,02663	0,02360	0,271
20	0,1548	0,06800	0,05038	0,03150	0,313

Tab. 6.2: "Mariner", $T_2 = 0{,}123$ m

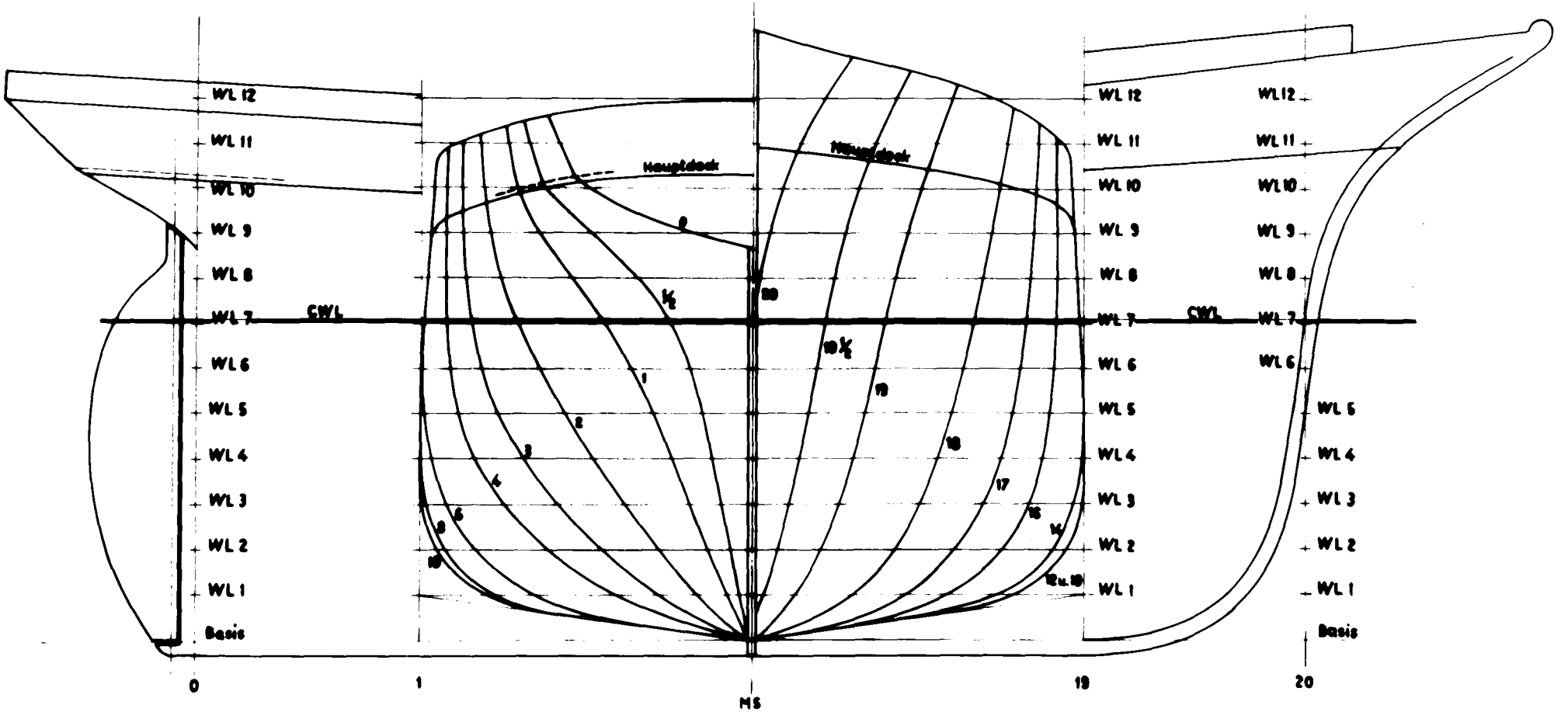
$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}122$; $\delta_R = 0^o$; $F_n = 0{,}203$

ε	c_C	c_D	c_{DC}	c_N	e/L_{pp}
0	0,0000	0,01762	0,00000	-0,00000	-
2	0,0087	0,01738	-0,00024	0,00428	0,039
5	0,0233	0,02054	0,00292	0,01016	0,094
7	0,0352	0,02528	0,00766	0,01359	0,142
10	0,0553	0,02804	0,01043	0,01821	0,193
12	0,0711	0,03160	0,01398	0,02120	0,221
15	0,0980	0,04424	0,02662	0,02581	0,257
20	0,1509	0,06952	0,05190	0,03346	0,298

Tab. 6.3: "Mariner", $T_2 = 0{,}123$ m

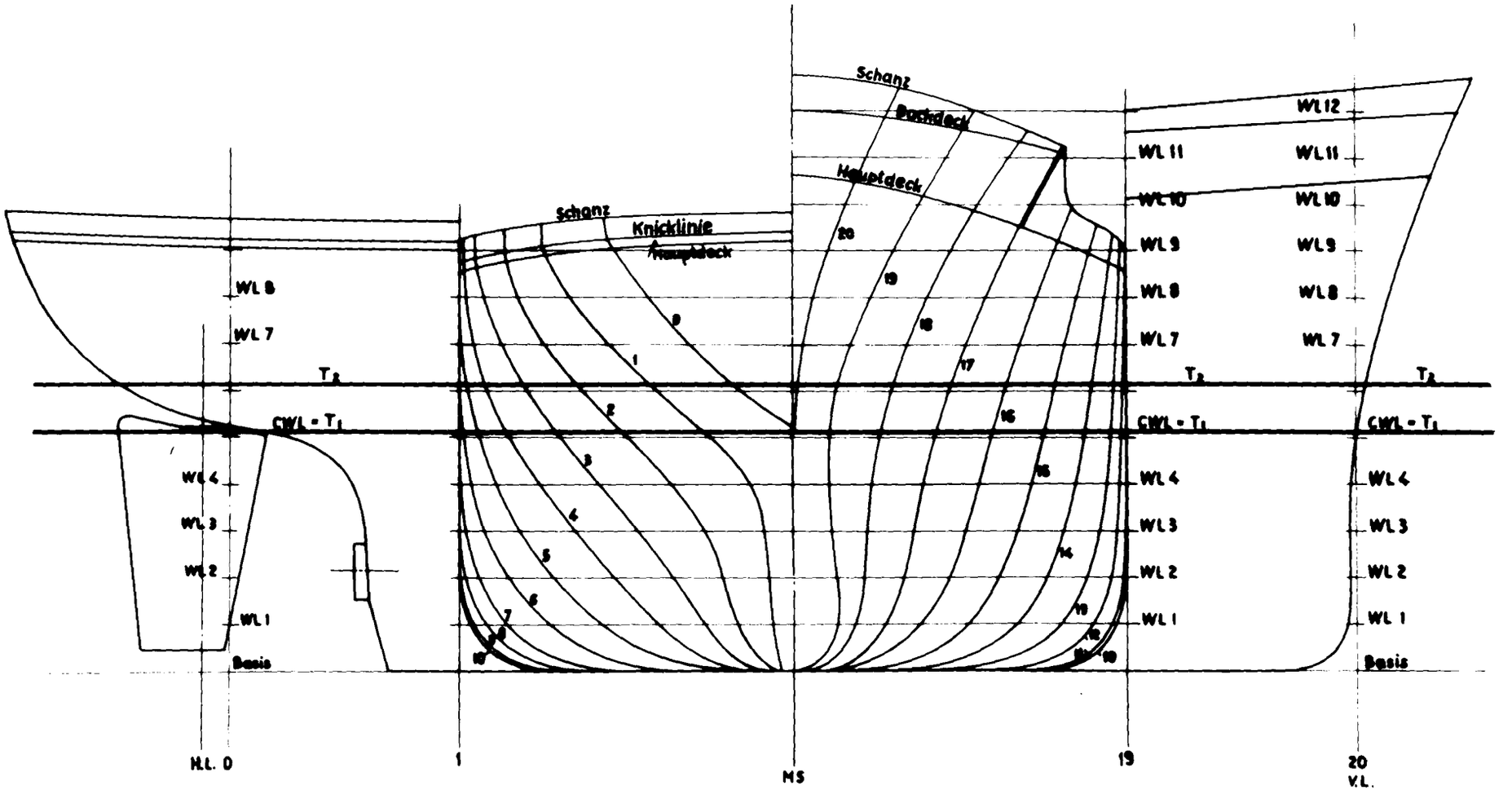
$\Lambda = \frac{2 \cdot T}{L_{pp}} = 0{,}122$; $\delta_R = 0^o$; $F_n = 0{,}279$

ε	c_C	c_D	c_{DC}	c_N	e/L_{pp}
0	0,0000	0,01927	0,00000	0,00001	-
2	0,0083	0,02054	0,00126	0,00491	-0,046
5	0,0237	0,02133	0,00205	0,01171	0,040
7	0,0363	0,02212	0,00284	0,01593	0,089
10	0,0592	0,02923	0,00995	0,02231	0,148
12	0,0758	0,03357	0,01430	0,02655	0,173
15	0,1051	0,04266	0,02338	0,03283	0,208
20	0,1619	0,07505	0,05577	0,04557	0,244



Modell Viermastbark

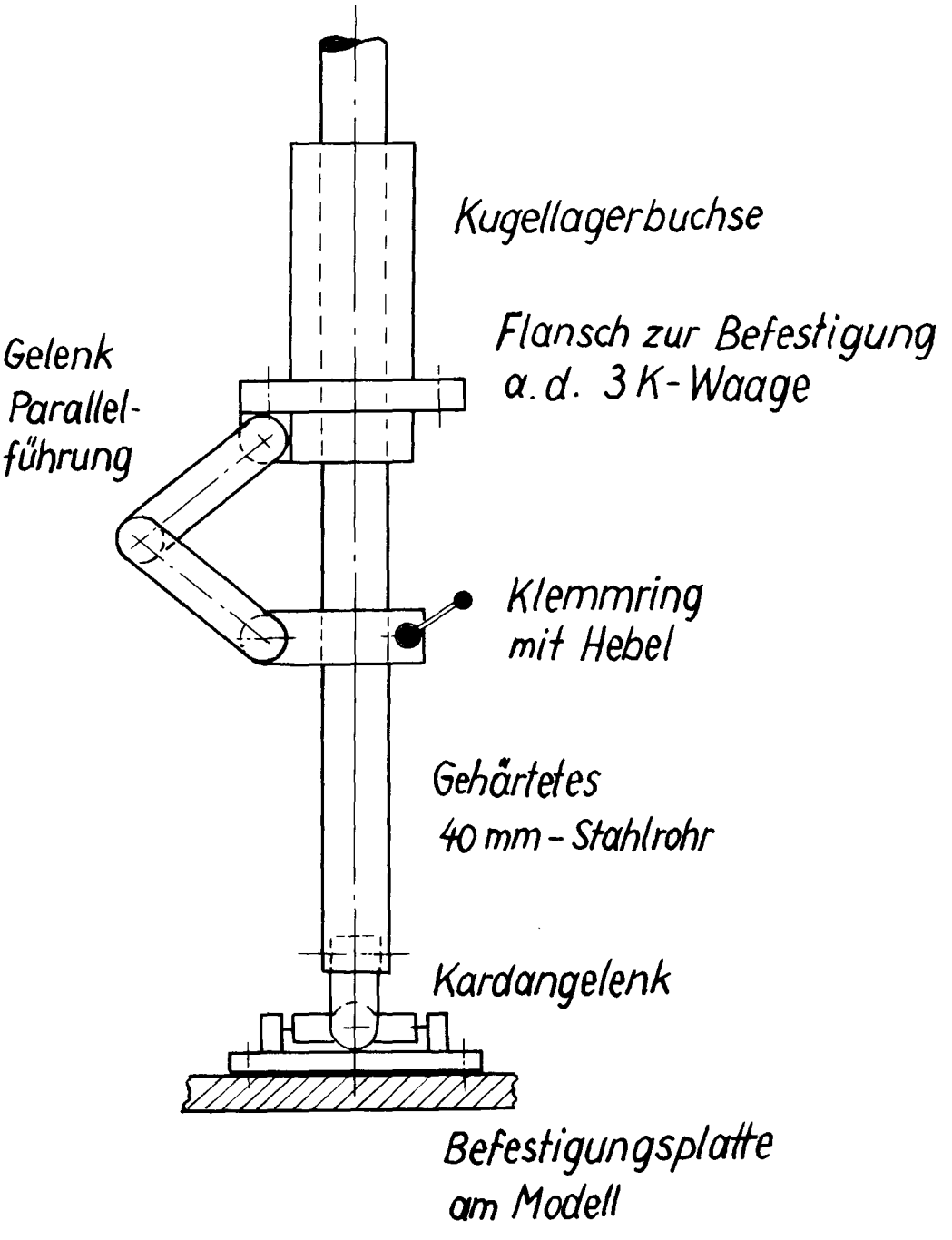
Abb. 1



Modell Mariner

Abb. 2

Abb. 3



Modellhalterung: Einrichtung für freies Tauchen, Krängen und Trimmen (Skizze ca. 1:4)

C_C = lift coeff. from leeway angle

C_{DC} = drag (induced) due to lift

Abb. 4

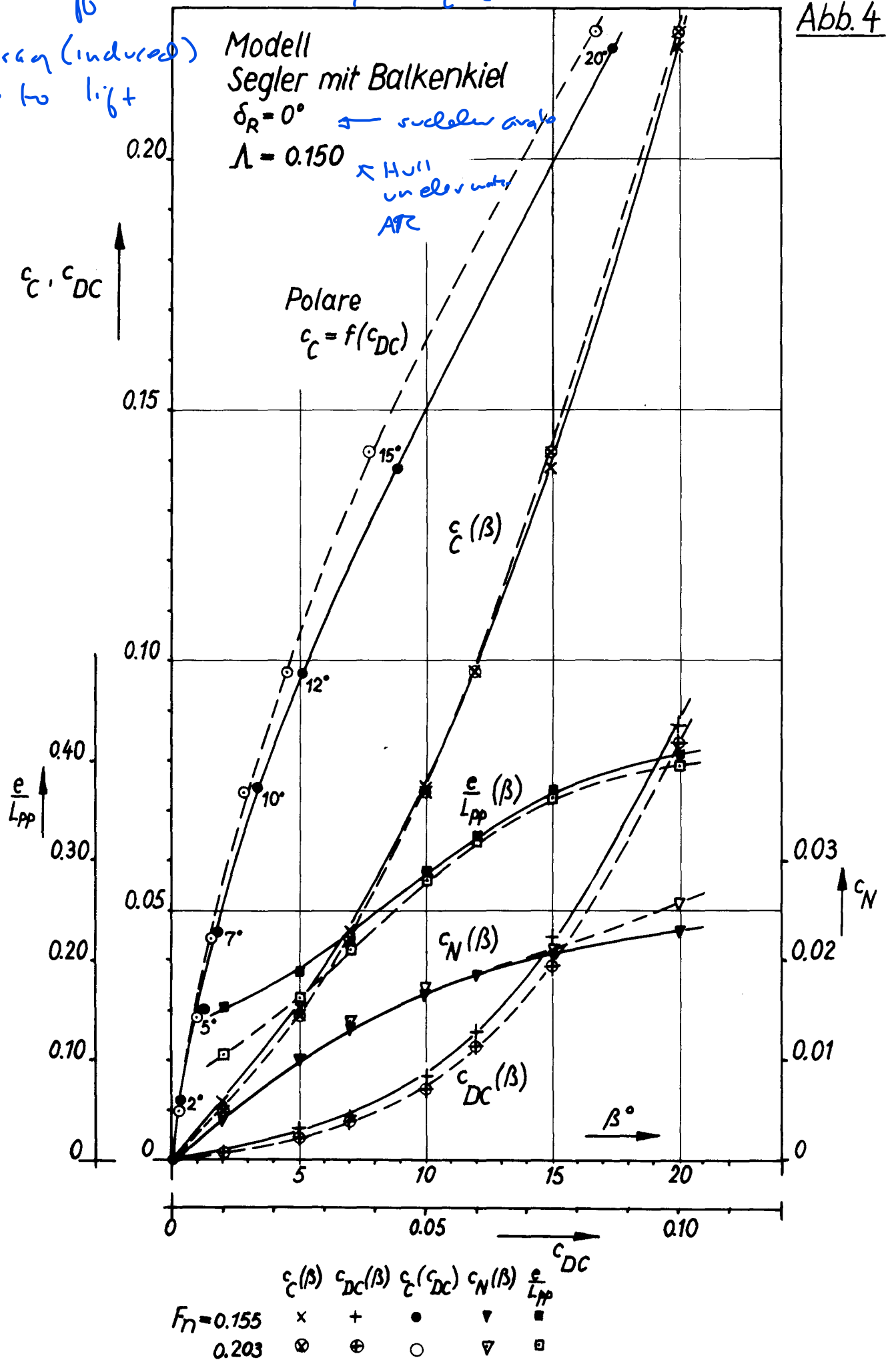


Abb. 5

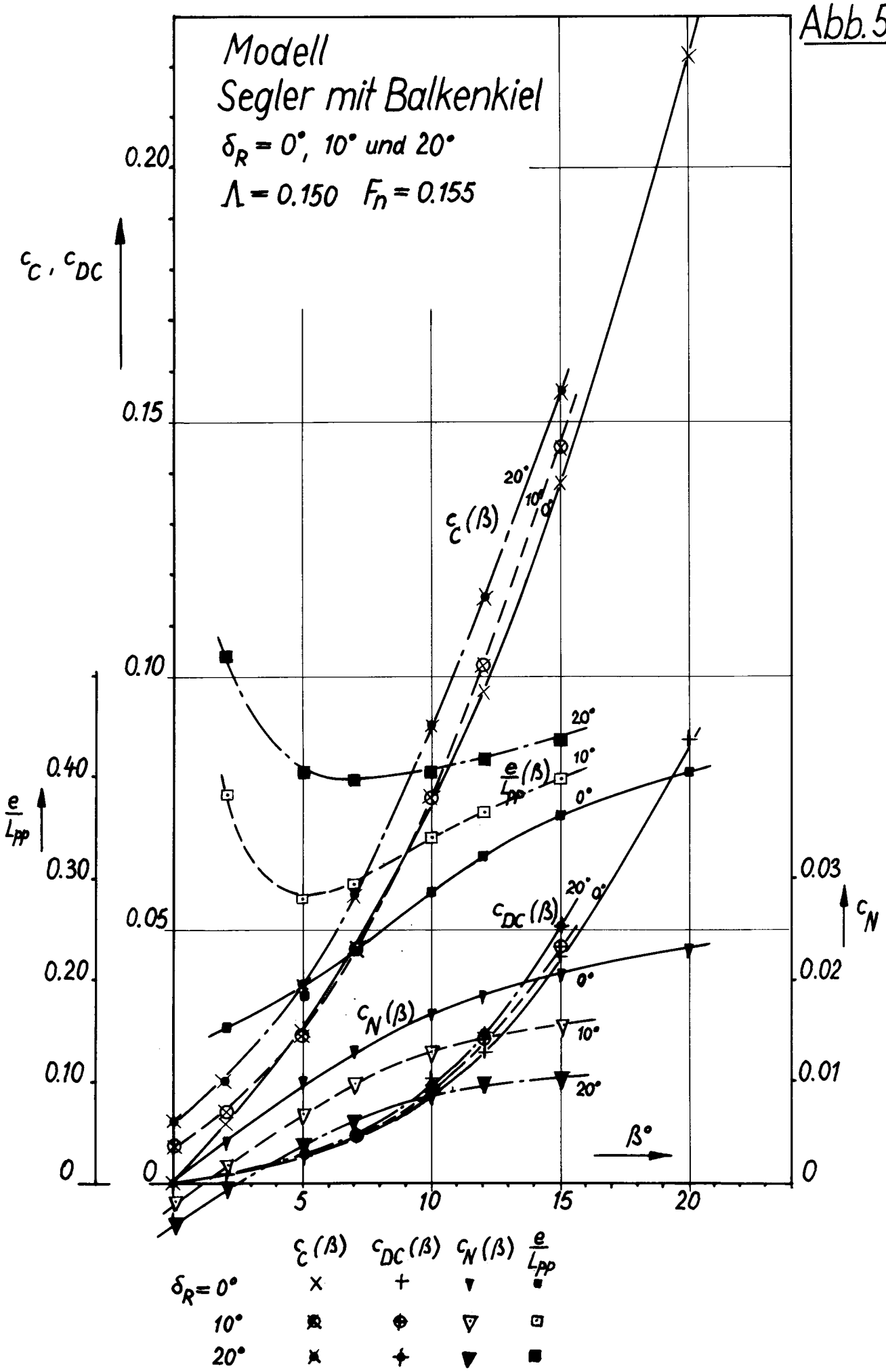

Modell
Segler mit Balkenkiel
$\delta_R = 0°$, 10° und 20°
$\Lambda = 0.150$ $F_n = 0.155$
c_C, c_{DC}
$\frac{e}{L_{pp}}$
c_N
$c_C(\beta)$
$\frac{e}{L_{pp}}(\beta)$
$c_{DC}(\beta)$
$c_N(\beta)$
$\beta°$
0.20
0.15
0.10
0.05
0
0.40
0.30
0.20
0.10
0
0.03
0.02
0.01
0
5
10
15
20
$c_C(\beta)$ $c_{DC}(\beta)$ $c_N(\beta)$ $\frac{e}{L_{pp}}$
$\delta_R = 0°$
10°
20°

Abb. 6

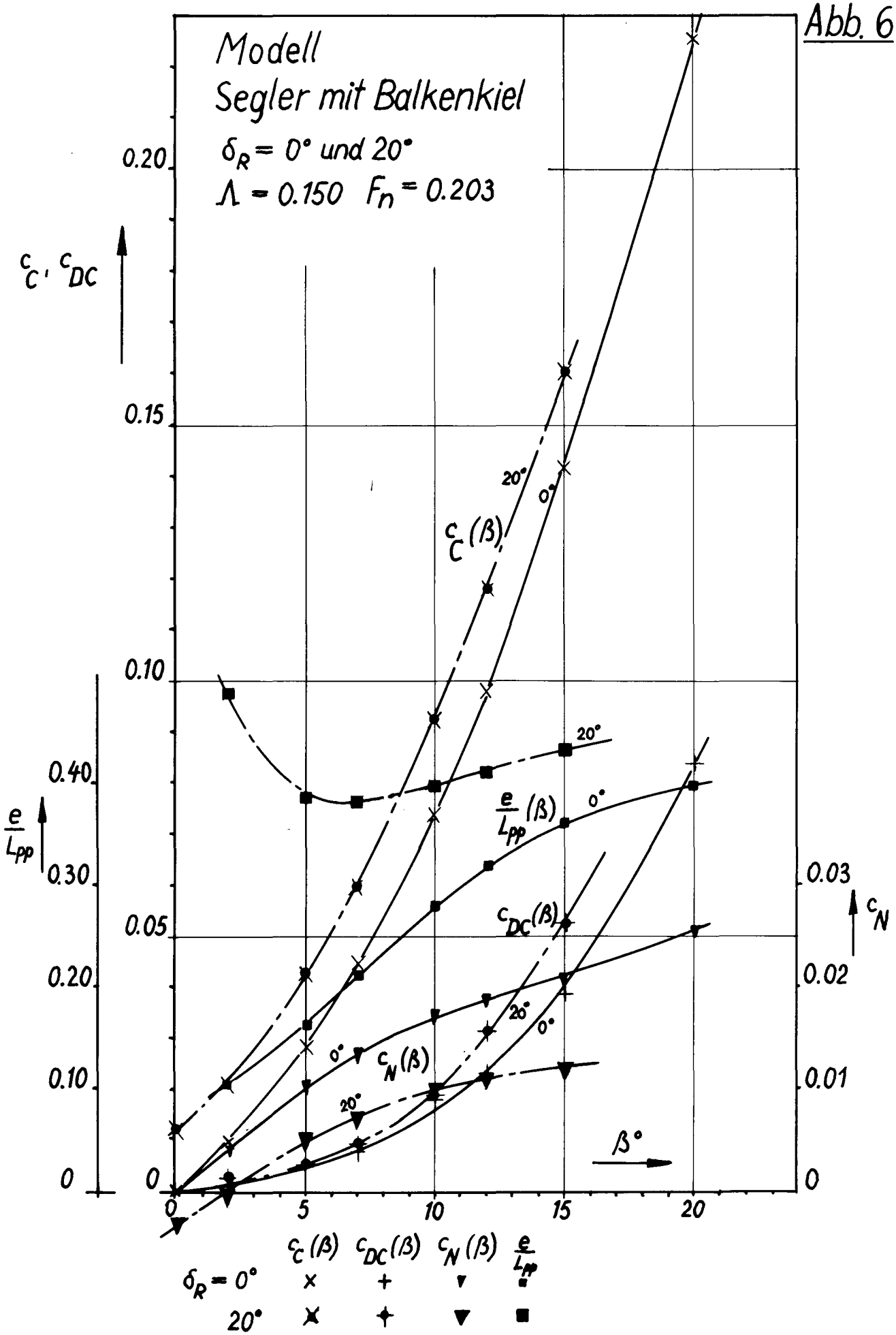

Modell
Segler mit Balkenkiel
$\delta_R = 0°$ und $20°$
$\Lambda = 0.150$ $F_n = 0.203$
c_C, c_{DC}
$\frac{e}{L_{pp}}$
c_N
$c_C(\beta)$
$\frac{e}{L_{pp}}(\beta)$
$c_{DC}(\beta)$
$c_N(\beta)$
20°
0°
$\beta°$
0.20
0.15
0.10
0.05
0
0.40
0.30
0.20
0.10
0
0.03
0.02
0.01
0
0
5
10
15
20
$c_C(\beta)$ $c_{DC}(\beta)$ $c_N(\beta)$ $\frac{e}{L_{pp}}$
$\delta_R = 0°$
20°

Abb. 7

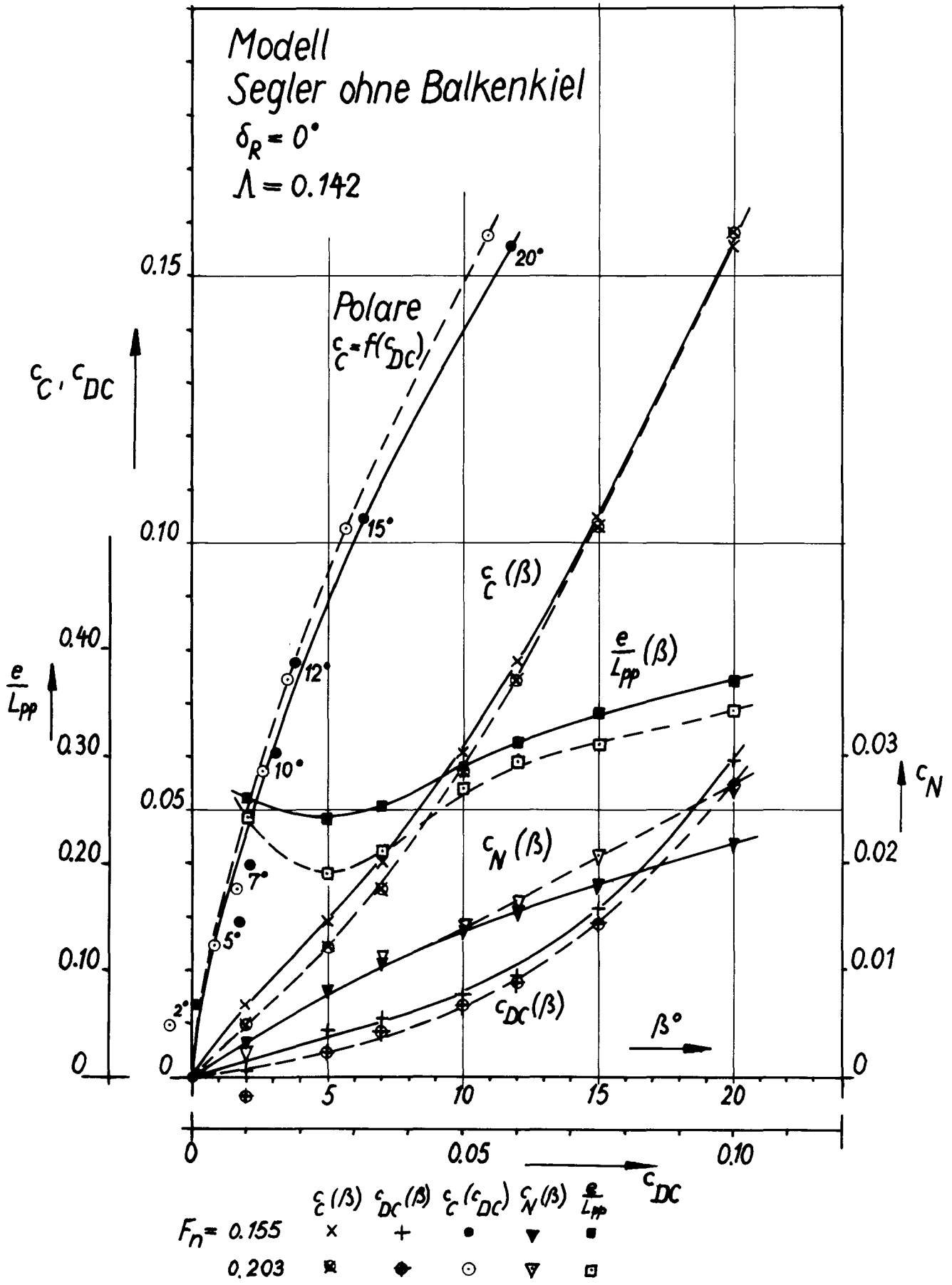

Modell
Segler ohne Balkenkiel
$\delta_R = 0°$
$\Lambda = 0.142$
Polare
$c_C = f(c_{DC})$
c_C, c_{DC}
$\frac{e}{L_{pp}}$
c_N
$c_C(\beta)$
$\frac{e}{L_{pp}}(\beta)$
$c_N(\beta)$
$c_{DC}(\beta)$
$\beta°$
c_{DC}
0.15
0.10
0.05
0
0.40
0.30
0.20
0.10
0
0.03
0.02
0.01
0
5
10
15
20
0
0.05
0.10
2°
5°
7°
10°
12°
15°
20°
$c_C(\beta)$ $c_{DC}(\beta)$ $c_C(c_{DC})$ $c_N(\beta)$ $\frac{e}{L_{pp}}$
$F_n = 0.155$
0.203

Abb. 8

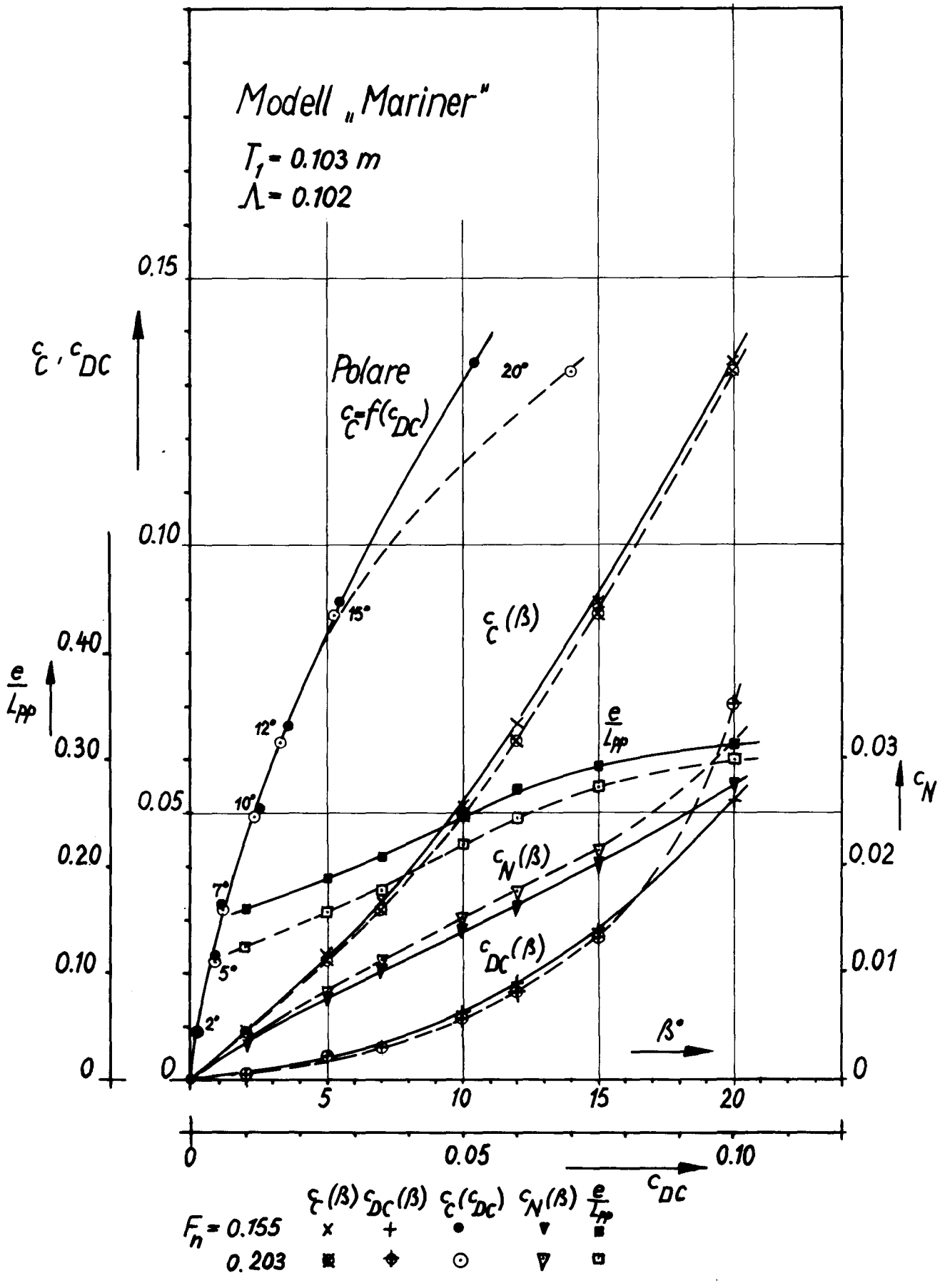

Modell „Mariner"
T_1 = 0.103 m
Λ = 0.102
Polare
$c_C = f(c_{DC})$
$c_C(\beta)$
$\frac{e}{L_{pp}}$
$c_N(\beta)$
$c_{DC}(\beta)$
c_C, c_{DC}
c_N
$\beta°$
c_{DC}
0.15
0.10
0.05
0
0.40
0.30
0.20
0.10
0.03
0.02
0.01
5
10
15
20
0.05
0.10
2°
5°
7°
10°
12°
15°
20°
$c_C(\beta)$ $c_{DC}(\beta)$ $c_C(c_{DC})$ $c_N(\beta)$ $\frac{e}{L_{pp}}$
F_n = 0.155
0.203

Abb. 9

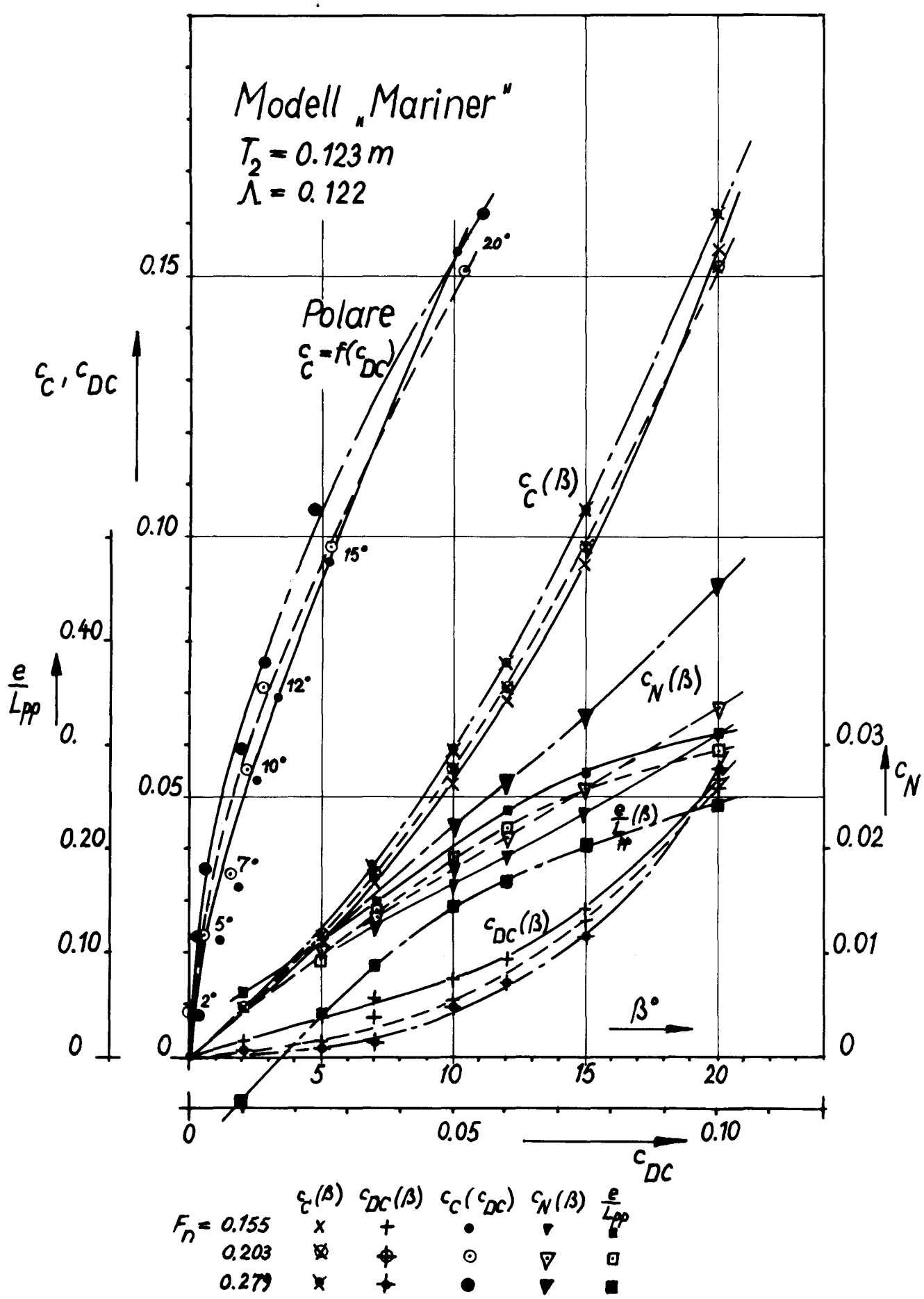
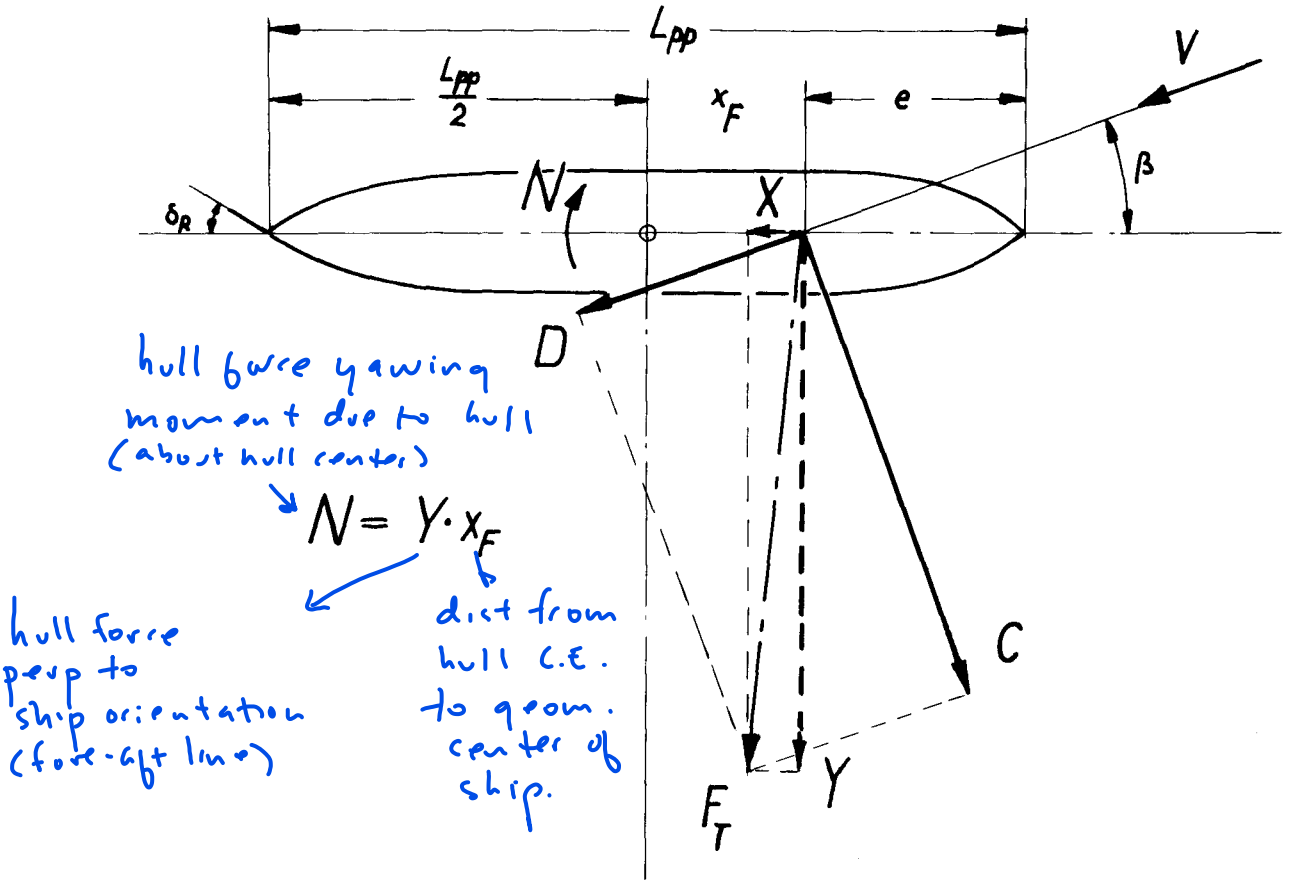

Modell „Mariner"
$T_2 = 0.123\,m$
$\Lambda = 0.122$
Polare
$c_C = f(c_{DC})$
c_C, c_{DC}
$c_C(\beta)$
$c_N(\beta)$
$\frac{e}{L_{pp}}(\beta)$
$c_{DC}(\beta)$
$\beta°$
$\frac{e}{L_{pp}}$
c_N
c_{DC}
0.15
0.10
0.05
0
0.40
0.20
0.10
0
0.03
0.02
0.01
0
5
10
15
20
0
0.05
0.10
20°
15°
12°
10°
7°
5°
2°
$c_C(\beta)$ $c_{DC}(\beta)$ $c_C(c_{DC})$ $c_N(\beta)$ $\frac{e}{L_{pp}}$
$F_n = 0.155$
0.203
0.279

Abb. 10

x_f = distance between hull C.E. and ship centerline

e = distance from ship bow to C.E of hull



Definitionsskizze für Kraftkomponenten und Giermoment

Abb. 11

Darstellungen $\varepsilon_{CH} = f\left(\frac{c_c}{\Lambda}\right)$

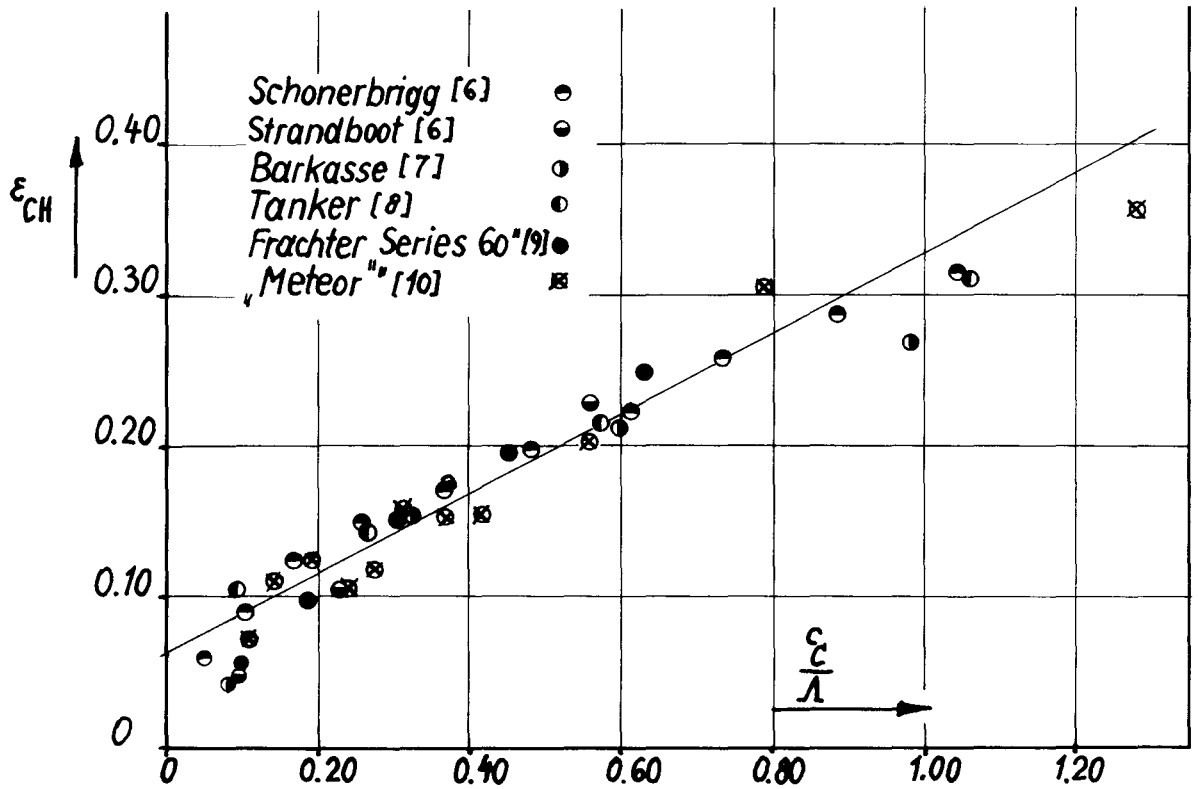


Abb. 12

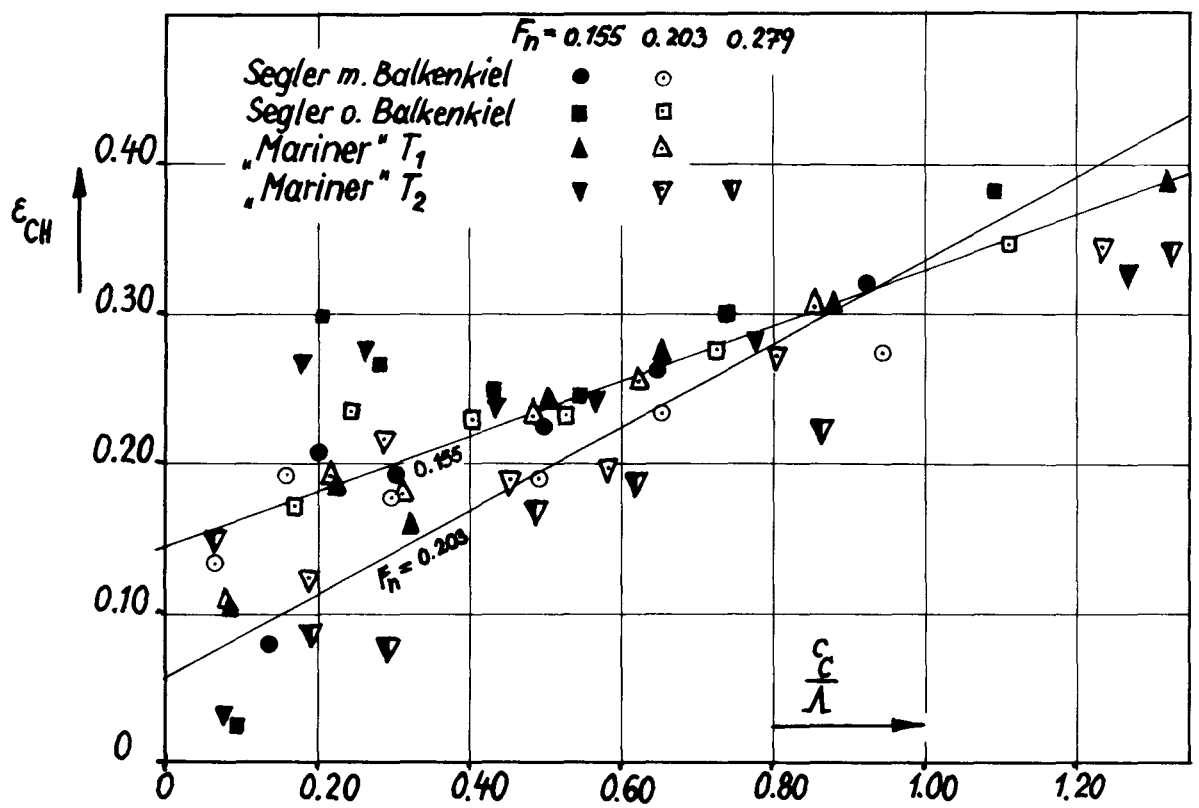
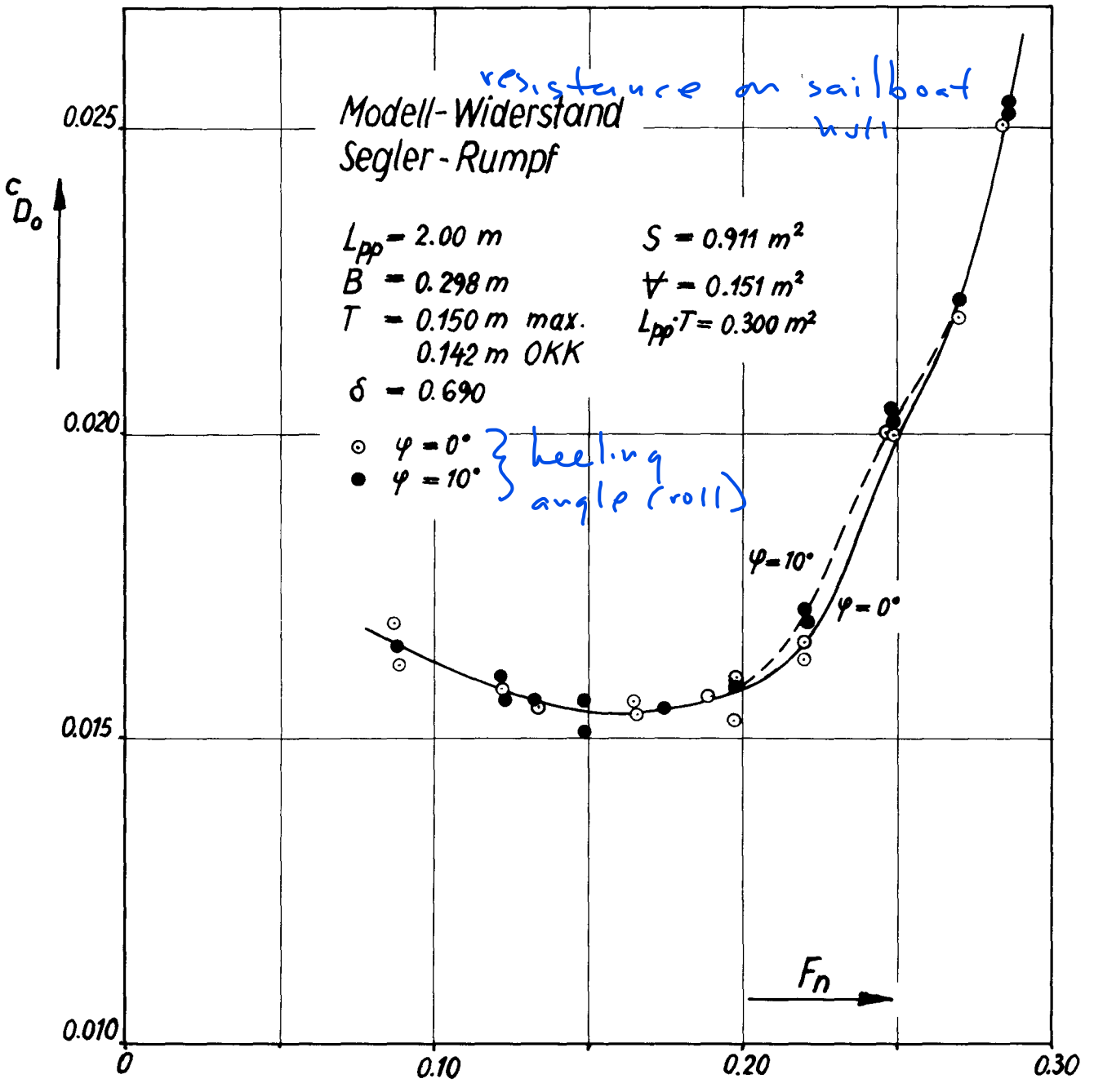


Abb. 13



Einfluß der Krängung auf den Widerstand bei Geradeausfahrt

$$c_{D_0} = \frac{D_0}{\frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot L_{pp} \cdot T}$$

Straight-ahead drag

influence of heeling when moving straight ahead