

173 | 1967

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

B. Wagner

Windkanalversuche für einen sechsmastigen Segler nach Prölss

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Windkanalversuche für einen sechsmastigen Segler nach Pröls

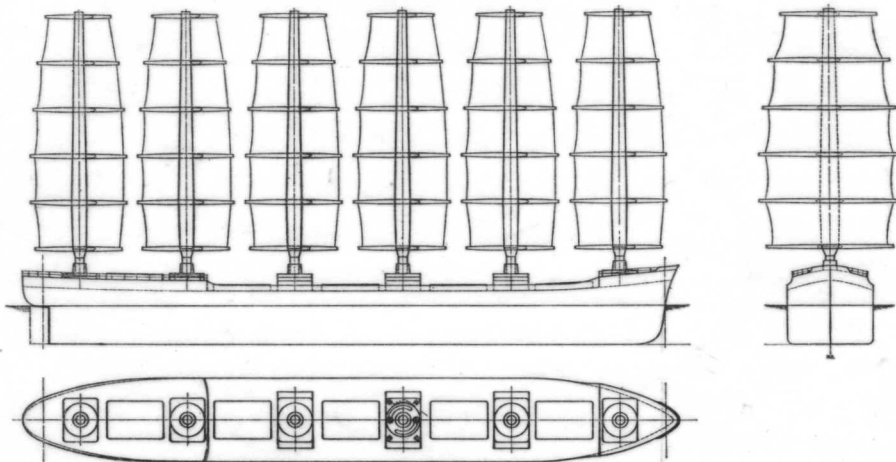
Von B. Wagner, Hamburg

1. Einführung

Im Bericht Nr. 172 des Instituts für Schiffbau [2] sind Windkanalversuche mit dem Takelagemodell einer Viermastbark beschrieben. Die vorliegende Veröffentlichung, die eine im Bild- und Textteil gekürzte Fassung des IfS-Berichtes Nr. 173 [1] darstellt, enthält die Ergebnisse der mit dem Modell eines sechsmastigen Seglers nach Pröls im Windkanal durchgeführten Versuche. Die Untersuchung, die im Rahmen eines vom Forschungsrat der Freien und Hansestadt Hamburg geförderten größeren Forschungsvorhabens „Windkräfte an Schiffen“ stattfand, soll zeigen, in welchem Maße sich die Takelagekräfte moderner Segelschiffe durch neue Konstruktionen im Vergleich zu herkömmlichen Segelschiffstypen verbessern lassen. Mit Hilfe eines am IfS entwickelten Verfahrens [3] sollen dann die Fahrtgeschwindigkeiten moderner und konventioneller Segler berechnet werden. Es soll damit zur Klärung der Frage beigetragen werden, ob sich die Fahrtleistungen von Segelschiffen durch Neukonstruktionen derart verbessern lassen, daß für bestimmte Transportaufgaben ein wirtschaftlicher Einsatz solcher Schiffe erfolgen kann.

Hier soll ein Segler mit rahgetakelten Masten nach W. Pröls betrachtet werden. Das Konstruktionsprinzip solcher Masten sind gekrümmte Rahen an einem freitragenden Profilmast, wobei der gesamte Mast bei zwischen den Rahen gesetzten Segeln eine geschlossene gewölbte und relativ formfeste Fläche bildet. Die grundsätzlichen aerodynamischen Fragen eines Mastes nach Pröls lassen sich durch Plattensegelmessungen klären. Solche Plattensegelmessungen wurden mit Einzelmasten sowie mit Plattensegeln bei mehrmastiger Anordnung durchgeführt [4], [5], [6]. Das Ergebnis dieser Voruntersuchungen kann wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Die Einzelmasten sollen wegen der — verglichen mit stärkeren Wölbungen — bei Mehrmastanordnung günstigeren Vortriebswirkung bei vorlichen bis seitlichen Winden eine Kreiswölbung der Rahen von $f/L_S = 0,120$ erhalten.



Oben:

Abb. 1:
Definitionsskizze

Links:
Abb. 2:

Windkanalmodell,
Segler nach Pröls,
Seitenansicht: $\delta_S = 45^\circ$;
Vorderansicht: $\delta_S = 90^\circ$

2. Die Verschlechterung der Segelpolaren durch größere Mastzahl und kleinere Mastabstände ist nicht so groß, daß — bei gleicher maximaler Segelhöhe — eine Sechsmastanordnung auf einem Schiff besser durch eine Fünfmastanordnung mit entsprechend größerem Mastabstand und verminderter Gesamtsegelfläche zu ersetzen wäre.

3. Durch Staffelung der Einstellwinkel der Masten (Einstellwinkel der Masten werden von vorn nach hinten kleiner) lassen sich die Segelpolaren bedeutend verbessern. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Takelage bei gestaffelt eingestellten Masten zu untersuchen und die optimale Staffelung zu ermitteln.

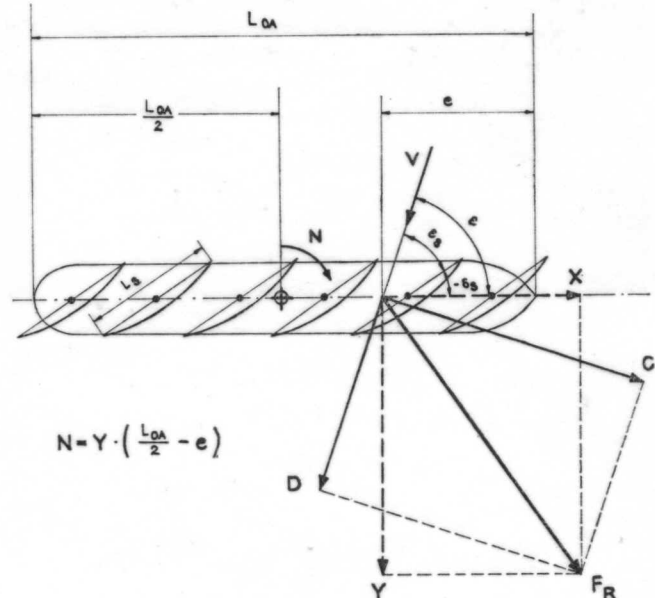
2. Versuchseinrichtung und Modell

2.1 Versuchseinrichtung

Die Versuche fanden im Windkanal des IfS statt. Das Modell wurde in einem Rechteckstrahl von $1,750 \text{ m} \times 1,05 \text{ m}$ auf einer in die (den Strahl nach unten begrenzenden) Bodenplatte eingelassenen Drehscheibe untersucht. Die Versuchs-

einrichtung ist in IfS-Bericht Nr. 172 [2] ausführlich beschrieben und durch eine Skizze erläutert worden. Die mit der Drehscheibe verbundene elektrische Dreikomponentenwaage erlaubt die Messung von Widerstand (Kraftkomponente in Anströmrichtung), Querkraft (Kraftkomponente senkrecht zur Anströmrichtung) und Gierrmoment.

In die Drehscheibe wurde zusätzlich eine Rollmomentenwaage eingebaut. Zu diesem Zwecke wurde mit dem verstell-



$$N = Y \cdot \left(\frac{L_{0A}}{2} - e \right)$$

baren Boden der Modellwanne eine zweite Platte durch zwei Stahlfedern verbunden, auf denen DMS-Streifen angebracht sind. Das Modell wurde auf die zweite Platte aufgeschraubt. Die Abdichtung der die Modellwanne in der Wasserlinie des Modells abdeckenden Schablonen am Modell erfolgte durch elastische Schaumstoffstreifen. Die Rollmomentenwaage wurde mit eingebautem und in der Wasserlinie abgedichtetem Modell geeicht, so daß die elastischen Eigenschaften der Dichtung berücksichtigt sind.

2.2 Modell (vgl. Abb. 2)

Das Windkanalmodell lehnt sich an einen Entwurf des Ingenieurkontors Lübeck (IKL) für ein sechsmastiges Massengutschiff nach Pröls an. Die Aufbauten wurden z. T. stark vereinfacht. Außerdem erfolgte die Messung nur für den Konstruktionstiefgang. Das ist ausreichend, da die Rumpfkraft klein im Vergleich zu den Kräften auf die Segel sind.

Neben den Modelldaten werden nachstehend zum Vergleich die Daten des Originalentwurfs angegeben:

Hauptabmessungen	Modell	Großausführung entsprechend Modell 1 : 154	Original- Entwurf IKL
Länge über alles	1,033 m	159,2 m	160,50 m
Länge zwischen den Loten	0,980 m	151,0 m	150,80 m
Breite	0,1346 m	20,75 m	21,00 m
Seitenhöhe	0,0854 m	13,15 m	13,00 m
Tiefgang	0,0617 m	9,52 m	9,215 m
Mastanzahl	6	6	6
Höhe der Besegelung*)	H = 0,458 m	70,60 m	67,0 m
projizierte Segelfläche	A = 0,4092 m ²	9700 m ²	9700 m ²
Rumpflateralfäche	A _{yR} = 0,0447 m ²		
Seitenverhältnis der Besegelung $\lambda = \frac{H^2}{A}$	= 0,513	0,513	0,494
minimaler Einstellwinkel der Masten δ_S	= 10°		

*) Größere Masthöhe des Modells im Vergleich zum Originalentwurf ist durch Verstellvorrichtung der Masten bedingt.

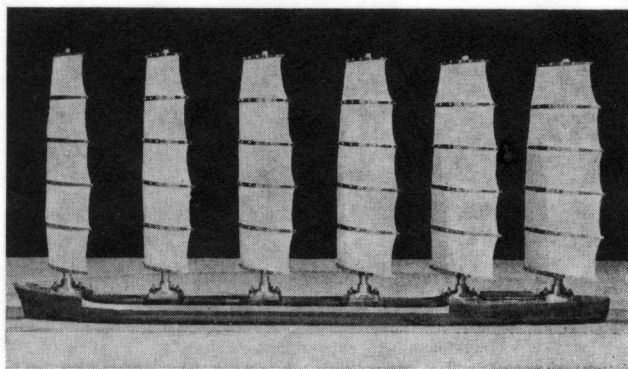


Abb. 3a: Modell im Windkanal, Masten parallel eingestellt, Ansicht von Lee, $\delta_S = 60^\circ$

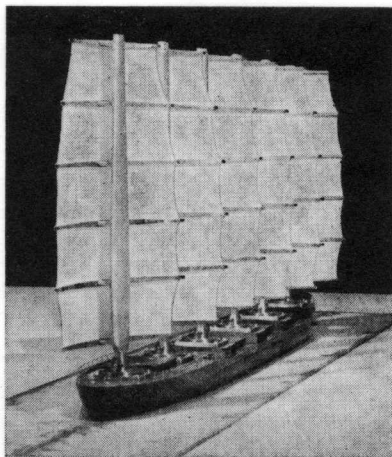


Abb. 3b: Modell im Windkanal, Masten gestaffelt eingestellt, Ansicht von Luv, $\delta_S = 60^\circ/30^\circ$

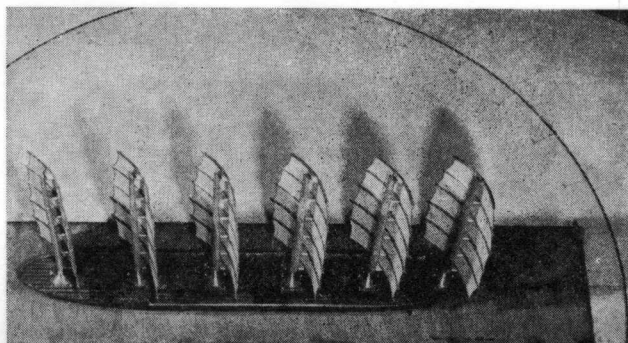


Abb. 3c: Modell im Windkanal, Masten parallel eingestellt, von oben gesehen, $\delta_S = 60^\circ$

Die elliptischen Profilmasten bestehen aus Leichtmetall (ALMg 5). Die gekrümmten Rahen aus Flachmessing 3×8 mm, an den Rahenden verjüngt, wurden an die dafür vorgesehenen Auflagezapfen des Mastes angeschraubt. Sie besitzen eine Kreiswölbung von $f/L_S = 0,120$.

Das Segeltuch (Dacron 100 g/m^2) wurde im ganzen auf die Rahen aufgespannt und durch $0,5$ mm dicke Abdeckschienen gehalten. Die hyperbolisch geschnittenen Seitenkanten der Teilsegel sind durch eine dünne Perlonschnur verstärkt worden.

Die Masten stehen senkrecht. Die Drehvorrichtung erlaubt kontinuierliche Drehung und Festsetzung der Masten.

3. Versuche und Versuchsergebnisse

3.1. Versuche

Die Versuche wurden mit voller Besegelung für den Konstruktionstiefgang ohne Trimm und Krängung durchgeführt.

Die Geschwindigkeitsverteilung über der Bodenplatte ist bis auf eine Anlaufgrenzschicht von ca. 25 mm Dicke homogen. Der Vorkammerdruck wurde bei der Messung konstant gehalten. Die Meßwerte wurden auf den Staudruck der ungestörten Strömung in Modellmitte bezogen.

$$\begin{aligned} \text{Strahlquerschnitt:} & 1.750 \text{ m}^2 \\ \text{Strahlgeschwindigkeit:} & 18.20 \text{ m/s} \\ \text{Staudruck:} & 20.20 \text{ kp/m}^2 \\ \text{Reynoldszahl: } R_n = V \cdot L_S / \nu & 0,240 \cdot 10^6 \\ \text{Strahlversperrung: } \frac{A + A_{yR}}{A_S} & 0,2590 \end{aligned}$$

Bei der vorliegenden Strahlversperrung ist der Einfluß auf die Meßergebnisse gering (vgl. 3.2.).

Durchführung der Versuche

Die Kraftkomponenten und Momente wurden in Abhängigkeit vom MastEinstellwinkel δ_S (Winkel zwischen den Rahsen und der Schiffslängsebene) und vom seitlichen Einfallswinkel des Windes ε gemessen.

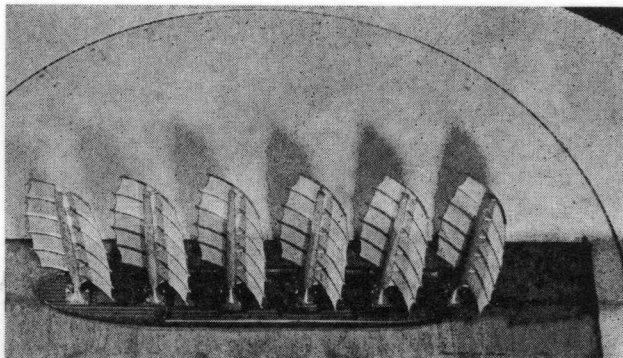


Abb. 3d: Modell im Windkanal, Masten gestaffelt eingestellt, von oben gesehen, $\delta_S = 60^\circ/30^\circ$

Der Rumpf des Modells wurde aus Teakholz, Schanzkleid und Geländer wurden — soweit vorhanden — aus Messing hergestellt.

Zu diesem Zwecke wurden die Masten in den gewünschten Einstellwinkel δ_S zur Schiffslängsebene gedreht und festgesetzt. Die zu messenden Anströmwinkel von $\varepsilon = \delta_S$ (Strö-

mung in Richtung der Rahsehne des vordersten Mastes) in 5°- bzw. 10°-Intervallen bis zu $\varepsilon = \delta_S + 90^\circ$ (Strömung senkrecht zur Rah des vordersten Mastes) wurden durch Drehen der Drehscheibe erreicht.

Außerdem wurden Versuche mit dem Modell ohne Segel durchgeführt (vergl. [1]). Einige während der Versuche aufgenommene Fotos (Abb. 3a bis d) zeigen das Modell im Windkanal. In Abb. 3c und d kann man gut die beiden Masteneinstellungen („parallel“ und „gestaffelt“) unterscheiden.

3.2. Meßgenauigkeit, Einfluß von Strahlversperrung und Reynoldszahl

Ausführlichere Angaben darüber sind in [2] zu finden. Die Ablesegenauigkeit der Meßverstärker betrug im allgemeinen 0,5% des zum jeweiligen Meßbereich gehörigen maximalen Meßwertes.

Die gesondert ermittelten Korrekturwerte für die Kräfte auf die Drehscheibe betragen bei einem Vorkammerdruck von $p_V = 20 \text{ kp/m}^2$ ca. 160 bis 320 p (entsprechend 1,4 bis 2,8% des maximalen Meßwertes) für den Widerstand, für die Querkraft konnten sie vernachlässigt werden.

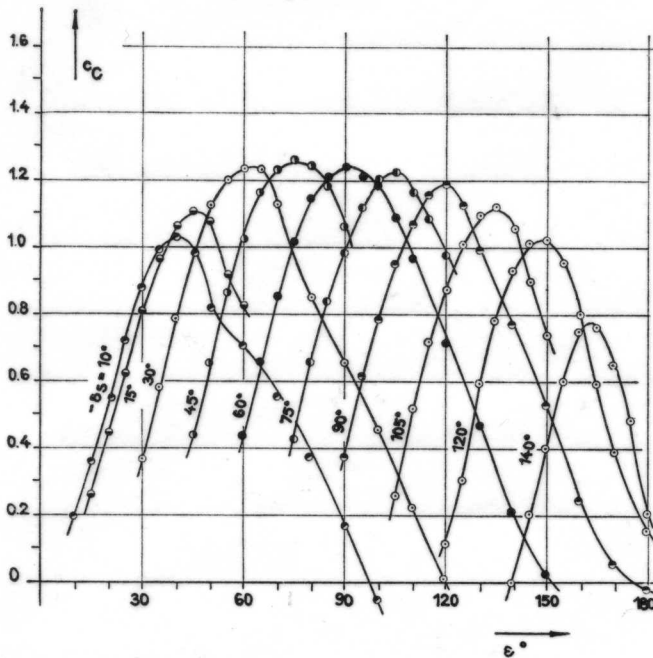


Abb. 4: Segler nach Prölss, Querkraftbeiwerte $c_C = f(\varepsilon, \delta_S)$ für parallele Masteneinstellung

Die Ergebnisse wurden nicht für den Einfluß der Strahlversperrung auf den Staudruck und die wirksame Schrägströmung korrigiert. Nach IfS-Bericht Nr. 160 [8] kann man abschätzen, daß bei der hier vorliegenden Versperrung von 25,9% die Querkraft- und Widerstandsbeiwerte um maximal 5% gegenüber den Meßwerten erhöht werden müßten.

Der Reynoldszahl einfluß wird wegen des Fehlens von Wanten und dünnen Spieren für das Modell des Seglers nach Prölss wesentlich geringer sein als für das untersuchte Viermastbarkmodell (vgl. [2]). Kontrollversuche für eine kleinere Reynoldszahl zeigten keine nennenswerte Änderung der Beiwerte; größere Reynoldszahlen konnten nicht untersucht werden, da die Waage keine größere Belastung zuließ.

3.3. Versuchsergebnisse

Im Bericht Nr. 171 [6] war auf Grund der Untersuchungen an Plattenseglern bei mehrmastiger Anordnung festgestellt worden, daß eine gestaffelte Masteneinstellung in vielen Fällen eine günstigere Vortriebswirkung ergibt. Aus diesem Grunde sah das Versuchsprogramm vor, die Takelagekräfte und -momente außer für parallel eingestellte Masten auch für optimal gestaffelt eingestellte Masten zu ermitteln. Diese Staffelung besteht darin, daß die Masteneinstellwinkel zur Schiffslängsebene δ_S von vorn nach hinten kleiner werden.

Als kleinster Einstellwinkel wurde aus technischen Gründen $\delta_S = 10^\circ$ gewählt. Bei der hier untersuchten Staffelung nahmen die Einstellwinkel linear vom vordersten zum hintersten Mast ab.

Die optimale Staffelung der Einstellwinkel der Masten sieht folgendermaßen aus:

δ_S (Mast 1)	δ_S (Mast 6)
15° bis 35°	10°
40° bis 45°	15°
50°	20°
60°	30°
70°	45°
80°	60°
90°	80°

In den Tabellen 1 bis 17 des Anhangs sind die Ergebnisse für parallele Masteneinstellung, in den Tabellen 18 bis 28 diejenigen für die gestaffelte Masteneinstellung enthalten.

Die Abb. 4 und 5 zeigen die Querkraftbeiwerte c_C als Funktion von ε und δ_S für parallele und für gestaffelte Mast-

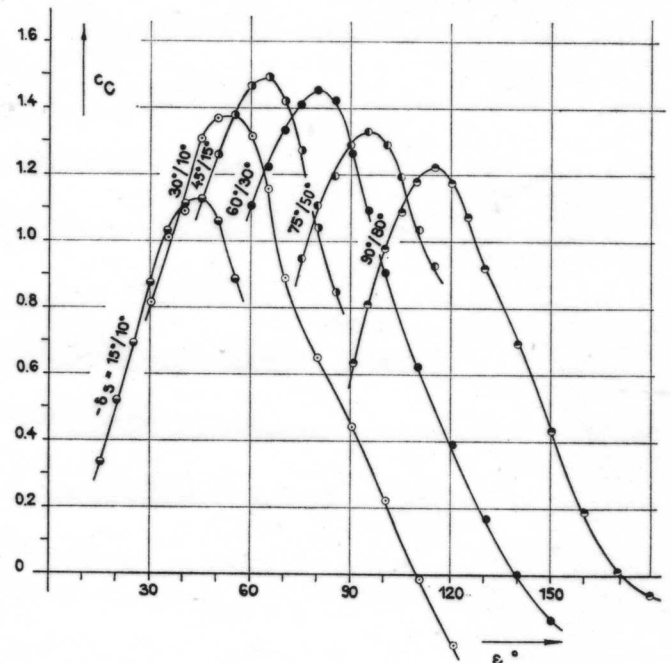


Abb. 5: Segler nach Prölss, Querkraftbeiwerte $c_C = f(\varepsilon, \delta_S)$ für gestaffelte Masteneinstellung

einstellung. Die Staffelung der Masteneinstellwinkel bewirkt eine Querkrafterhöhung bis zu 17%. Dabei muß keine Erhöhung der Widerstandsbeiwerte c_D in Kauf genommen werden. Die Beiwerte der Giermomente unterscheiden sich nicht sehr. Man muß sie bei Fahrtgeschwindigkeitsberechnungen kennen, da ein Schiff nur bei ausgeglichenem Giermoment segeln kann, sie sollen hier aber nicht näher erläutert werden.

Eine Analyse der Rollmomente zeigte, daß man die Seitenkraft Y für Stabilitätsbetrachtungen mit guter Näherung im Segelschwerpunkt angreifend denken kann.

3.4. Vergleich der Segelpolaren

Zum Vergleich von Takelagen und zur Beurteilung der Segeligenschaften (Fahrtgeschwindigkeitsberechnungen) werden in der Segeltheorie „Segelpolaren“ benutzt. Es handelt sich hierbei lediglich um eine andere Auftragsweise der in Tab. 1 bis 28 gegebenen Querkraft- und Widerstandsbeiwerte: Bei konstant gehaltenem seitlichen Einfallswinkel des Windes ε werden für bestimmte Anströmwinkel ε_S des Mastes die Querkraftbeiwerte c_C über den zugehörigen Widerstandsbeiwerten c_D aufgetragen und durch eine Kurve verbunden. Bei einem mehrmastigen Segler sind diese Segelpolaren infolge Interferenz der Masten und Rumpfeinfluß stark von ε abhängig, was auch die Messungen am Modell der Viermastbark zeigten (vgl. [2]).

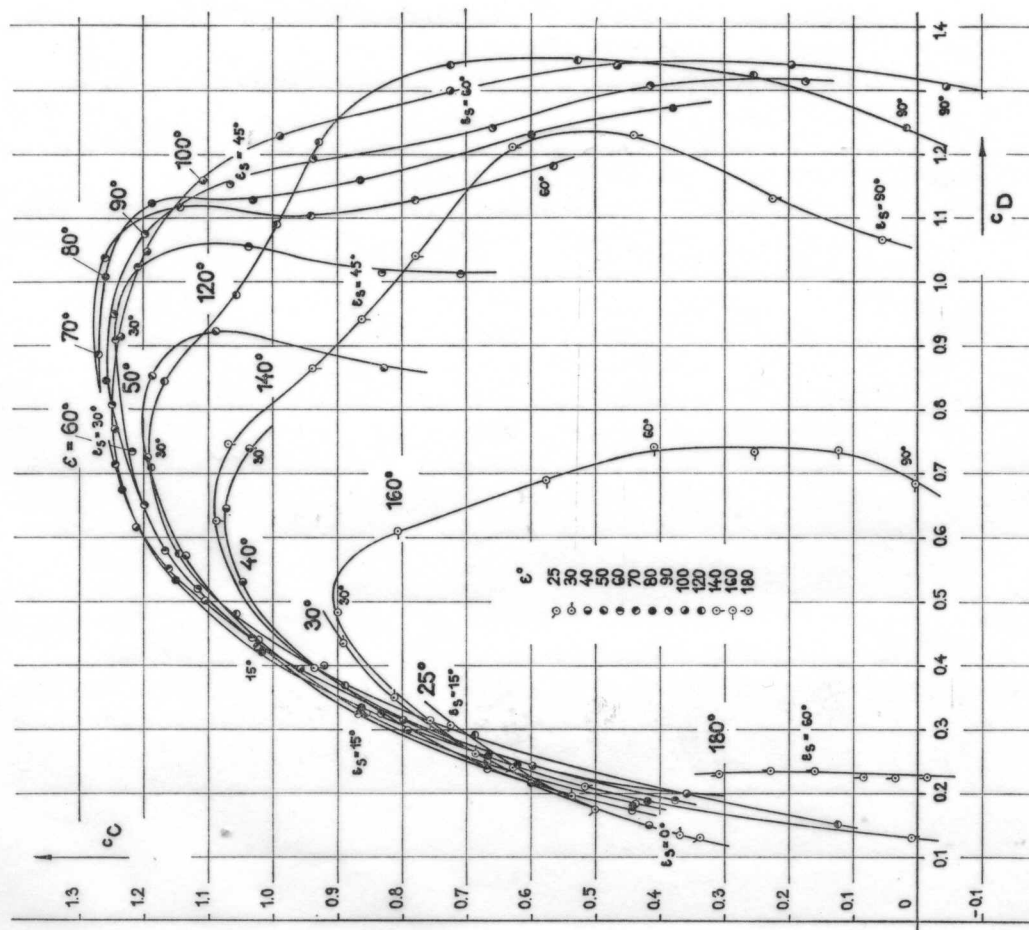


Abb. 6:
Segler nach Pröbss,
Segelpolaren $c_c = f(c_D)$
für $\epsilon = \text{const}$, parallele
Maststellung, $\lambda = 0,513$

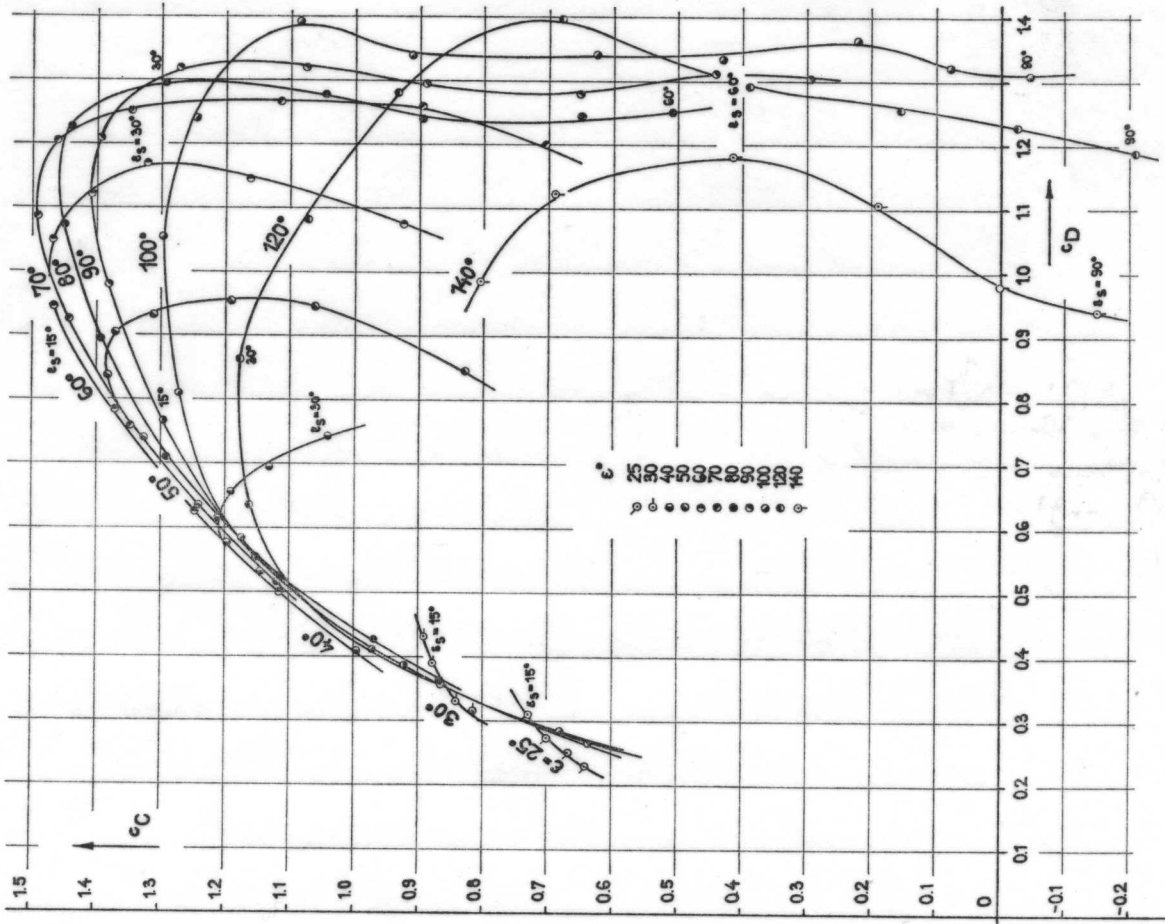


Abb. 7:
Segler nach Pröbss,
Segelpolaren $c_c = f(c_D)$
für $\epsilon = \text{const}$, gestaffelte
Maststellung, $\lambda = 0,513$

In Abb. 6 und 7 sind die Scharen der Segelpolaren für den Segler nach Prölss für parallele und gestaffelte Einstellung der Masten dargestellt. Es zeigt sich, daß die Polaren für kleine Segelanströmwinkel ε_3 in weit geringerem Maße vom seitlichen Einfallswinkel des Windes abhängen als dies bei der Viermastbark der Fall war. Der Grund hierfür dürfte vor allem in dem geringen Anteil der Teilkräfte auf Rumpf und Masten an den Gesamtkräften auf Schiff und Segel beim Segler nach Prölss zu suchen sein.

senkrecht dazu die zugehörige Komponente c_Y . Durch weitere Senkrechte zu der Geraden kann man diese Komponentenzerlegung für beliebige Punkte der Segelpolare durchführen.

Man darf die in Schiffsängsrichtung wirkende Komponente c_X nicht isoliert von der zugehörigen c_Y -Komponente betrachten. Die Y-Komponente der Luftkraft muß durch eine gleichgroße Rumpfkraft ausgeglichen werden, die durch Schrägstellen des Rumpfes (Abtrieb) in Verbindung mit einer Widerstandserhöhung des Rumpfes erzeugt werden kann. Der

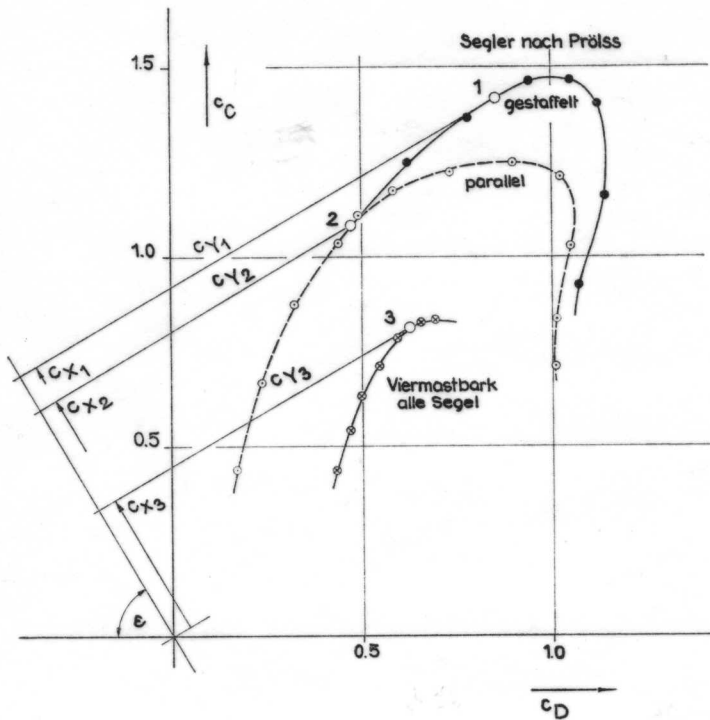


Abb. 8a: $\varepsilon = 60^\circ$

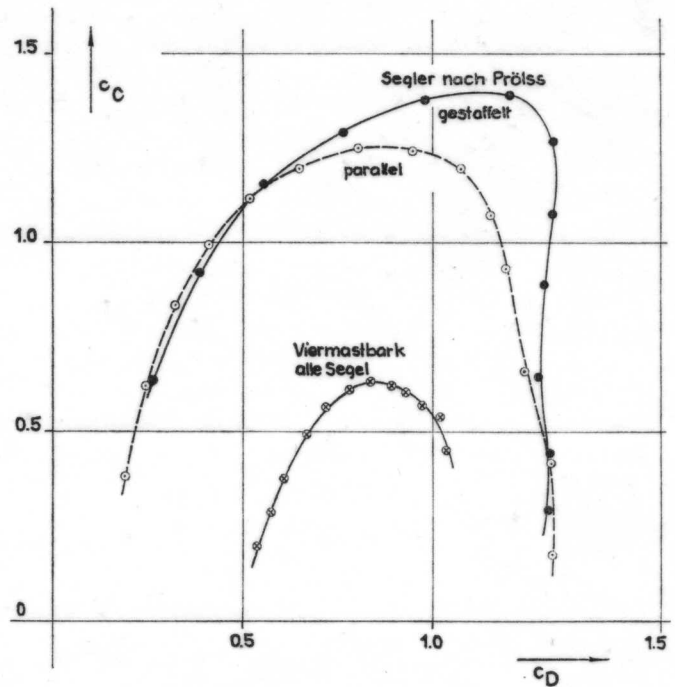


Abb. 8b: $\varepsilon = 90^\circ$

Abb. 8: Vergleich der Segelpolaren für Segler nach Prölss und Viermastbark

Die Abb. 8a bis 8c bringen einen Vergleich der Segelpolaren für drei Schiffsrichtungen zum Wind ε , und zwar für die Kurse $\varepsilon = 60^\circ$ („am Wind“), $\varepsilon = 90^\circ$ („halber Wind“), $\varepsilon = 120^\circ$ („raumer Wind“).

Aus Abb. 8a ($\varepsilon = 60^\circ$) ist ersichtlich, daß die größeren Querkraftbeiwerte der gestaffelt eingestellten Takelage durch längeres Anliegen der Strömung (Vermeidung stärkerer Teilablösung) erzielt werden. Für Anströmwinkel ε größer als 90° bringt die gestaffelte Einstellung kaum noch Vorteile.

Ob die größeren Querkraftbeiwerte der gestaffelten Masteneinstellung — besonders bei größeren Windstärken — auch genutzt werden können, hängt in hohem Maße von der Stabilität des Schiffes ab. Aus Stabilitätsgründen muß man oft mit Segelstellungen des unteren Polarenbereiches (kleine c_C -Werte) fahren, in dem sich parallele und gestaffelte Masteneinstellung nicht unterscheiden (vgl. Abb. 8b) oder der überhaupt nur für die parallele Masteneinstellung erreicht wird (Abb. 8a).

Sehr aufschlußreich ist ein Vergleich mit den entsprechenden Polaren der Viermastbark, die in Abb. 8a bis 8c mit enthalten sind.

Zu diesem Zwecke wollen wir die Segelkraftkomponenten in Schiffsängsrichtung (c_X) und senkrecht dazu (c_Y) betrachten:

$$\begin{aligned} c_X &= c_C \cdot \sin \varepsilon - c_D \cdot \cos \varepsilon \\ c_Y &= c_C \cdot \cos \varepsilon + c_D \cdot \sin \varepsilon \end{aligned} \quad (\text{vgl. Abb. 1})$$

In Abb. 8a wird gezeigt, wie man diese Komponenten grafisch aus den Segelpolaren gewinnen kann („Kurseck“, vgl. Croseck [7]): Man zeichnet unter den Winkel ε eine Gerade durch den Nullpunkt des Koordinatensystems. Die zu dieser Geraden senkrechte Tangente an die Segelpolare ergibt auf der Geraden selbst die maximal mögliche Komponente c_X und

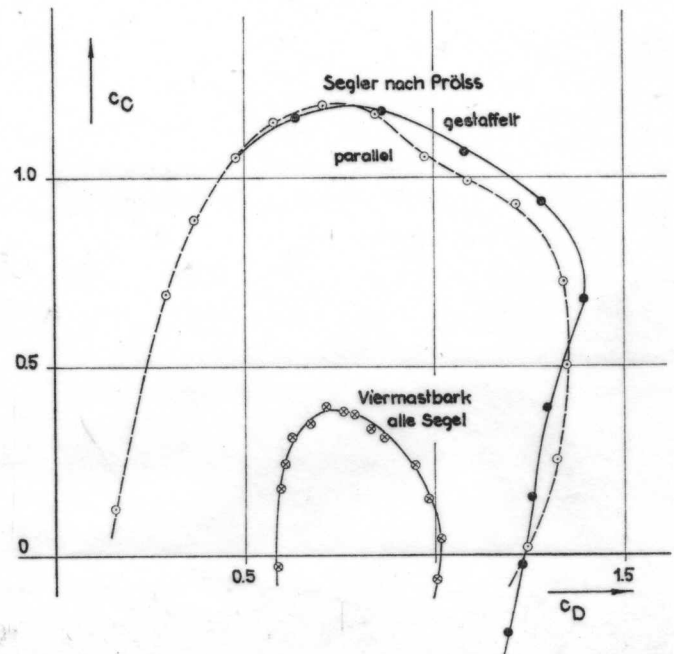


Abb. 8c: $\varepsilon = 120^\circ$

in der folgenden Tabelle gebrachte Vergleich der c_X -Komponenten von Viermastbark und Segler nach Prölss für die den Abb. 8a bis 8c entsprechenden Einfallswinkel des Windes wurde deshalb für gleiche c_Y -Werte durchgeführt:

ε	Prölss-Segler		Viermastbark alle Segel		c_X (Prölss-S)
	c_X	c_Y	c_X	c_Y	c_X (4MBark) (für gleiches c_Y)
60°	0,798 0,694	max 0,950	1,455 0,390	0,950	1,780
90°	1,400 1,330	max 0,830	1,100 0,630	0,830	2,110
120°	1,470 1,470	max 0,500	0,250 0,720	0,500	2,040

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß die ein Maß für die Vortriebskraft der Takelage darstellende Luftkraftkomponente X in Schiffslängsrichtung bei gleicher Komponente Y für den Segler nach Prölss in den betrachteten Fällen um 78 bis 111 % über den Werten der „konventionellen“ Viermastbark liegt. Vergleicht man mit der Segelpolare für die Viermastbark ohne Stagsegel (vgl. [2]), so fällt der Vergleich etwas weniger ungünstig für die Viermastbark aus.

4. Folgerungen

Der im vorigen Abschnitt enthaltene Vergleich der Segelpolaren für eine Viermastbark und einen Segler nach Prölss hat gezeigt, daß sich die Vortriebskräfte moderner Takelagen im Vergleich zu konventionellen z. T. um mehr als das Doppelte steigern lassen. Interessant ist es natürlich, die Frage zu prüfen, ob mit diesen Takelagen ausgerüstete Segelschiffe Geschwindigkeiten erreichen können, die einen wirtschaftlichen Einsatz rechtfertigen würden. Solche Geschwindigkeitsberechnungen sind durchgeführt worden und sollen in einer späteren Arbeit dargelegt werden.

5. Zusammenfassung

Es werden im Windkanal des IFS mit dem Modell eines neuartigen Seglers durchgeführte Versuche und deren Ergebnisse beschrieben. Die Takelage des Seglers entspricht einem Entwurf von W. Prölss. Die Wiedergabe der Ergebnisse erfolgte in dimensionsloser Form, und zwar wurden die horizontalen Kraftkomponenten sowie die Gier- und Rollmomente in Abhängigkeit von MastEinstellung und seitlichem Windeinfallswinkel dargestellt. Die in der Segeltheorie benutzten Segelpolaren des Schiffes wurden mit den entsprechenden Segelpolaren einer Viermastbark verglichen. Der Vergleich zeigt, daß sich die Vortriebskräfte von Segelschiffen durch moderne Konstruktionen in hohem Maße verbessern lassen.

Den Mitarbeitern der Instituts für Schiffbau sei an dieser Stelle für die Unterstützung dieser Untersuchungen gedankt. Besonderer Dank gilt Herrn Böhme für seine Hilfe bei der Vorbereitung und Durchführung der Windkanalversuche.

6. Symbole

- F_R Resultierende Kraft
- X Kraftkomponente in Schiffslängsrichtung, positiv nach vorn
- Y Kraftkomponente senkrecht zur Schiffslängsebene, positiv nach Steuerbord
- C Kraftkomponente senkrecht zur Anströmrichtung (Querkraft), positiv in Anströmrichtung gesehen nach links
- D Kraftkomponente in Anströmrichtung (Widerstand), positiv in Anströmrichtung

- N Moment um die Hochachse, bezogen auf $L_{OA}/2$, positiv rechtsdrehend (Giermoment)
- K Moment um die Längsachse in der Wasserlinien-Ebene, positiv rechtsdrehend (Rollmoment)
- c_X, c_Y, c_C, c_D dimensionslose Beiwerte der Kräfte, bezogen auf den Staudruck der Anströmgeschwindigkeit und die Projektionsfläche der jeweils gesetzten Segel
- c_N dimensionsloser Beiwert des Moments um die Hochachse, bezogen auf Staudruck der Anströmgeschwindigkeit, Projektionsfläche der Segel und Bezugslänge L_{OA}
- c_K dimensionsloser Beiwert des Moments um die Längsachse (Rollmoment), bezogen auf Staudruck der Anströmgeschwindigkeit, Projektionsfläche der Segel und Bezugslänge H
- V relative Anströmgeschwindigkeit
- ρ Luftdichte unter Versuchsbedingungen
- $q = \rho \cdot V^2/2$ Staudruck der Anströmgeschwindigkeit
- q_V Vorkammerdruck des Windkanals
- ν kinematische Zähigkeit der Luft unter Versuchsbedingungen
- L_S Sehnenlänge der längsten Rah des Einzelmastes
- L_{OA} Länge über alles
- $R_n = V \cdot L_S/\nu$ Reynoldszahl der Segel
- A Projektionsfläche der Segel
- A_{yR} Lateralfäche des Rumpfes
- A_S Strahlquerschnitt des Windkanals
- H Höhe der Besegelung
- $\Delta = H^2/A$ Seitenverhältnis der Besegelung
- e Druckpunktlage, d. h. Entfernung des Schnittpunktes der Resultierenden mit der Schiffslängsebene von vorn
- e/L_{OA} relative Druckpunktlage
- ε_S relativer Anströmwinkel des Einzelmastes, bezogen auf die Rahsehne, bei gestaffelter MastEinstellung Anströmwinkel des vordersten Mastes
- ε relativer Anströmwinkel des Schiffes, bezogen auf die positive x-Richtung (Richtung der Schiffslängsebene nach vorn)
- δ_S Einstellwinkel der Einzelmasten, Winkel zwischen Rahsehne und Schiffslängsebene

7. Schrifttum

- [1] B. Wagner: Windkanalversuche für einen sechsmastigen Segler nach Prölss. IFS-Bericht Nr. 173, Januar 1967.
- [2] B. Wagner: Windkanalversuche mit dem Takelagemodell einer Viermastbark. IFS-Bericht Nr. 172, Oktober 1966. „Schiff und Hafen“, Heft 1/1967, S. 13.
- [3] B. Wagner: Praktische Durchführung der Berechnung der Fahrtgeschwindigkeit von Segelschiffen. IFS-Bericht Nr. 112, Juni 1962.
- [4] B. Wagner: Windkanalversuche mit gewölbten Plattensegeln an einem rahgetakelten elliptischen Mast neuer freitragender Konstruktion. IFS-Bericht Nr. 122, Juni 1964.
- [5] B. Wagner: Windkanalversuche für einen rahgetakelten Mast mit einer gewölbten Platte bei verschiedenen Leeseegel-Einstellungen. IFS-Bericht Nr. 123, Juni 1964.
- [6] B. Wagner: Windkanalversuche mit gewölbten Plattensegeln an Einzelmasten sowie mit Plattensegeln bei Mehrmastedanordnung. IFS-Bericht Nr. 171, Oktober 1966.
- [7] H. Croseck: „Beiträge zur Theorie des Segelns“. Verlag von Julius Springer, Berlin 1925.
- [8] B. Wagner: Windkanalversuche mit Schiffsilhouetten und Rechteckplatten zur Prüfung des Versperrungseinflusses in einem Rechteckstrahl. IFS-Bericht Nr. 160 (in Vorbereitung).

Modell Segler nach Pröls

Masten parallel eingestellt $A = 0,4092 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,033 \text{ m}$

Tab. 1: $\delta_S = 10^\circ$; $R_n = 0,242 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N	C_K
0	0.209	0.098	0.0326	0.124
5	0.368	0.140	0.0590	—
10	0.555	0.210	0.0922	0.309
15	0.729	0.307	0.1261	0.446
20	0.883	0.435	0.1577	0.525
25	1.001	0.592	0.1758	0.578
30	1.039	0.741	0.1912	0.622
35	0.989	0.831	0.1501	—
40	0.828	0.864	0.0891	0.604
50	0.710	1.013	0.0661	—
60	0.565	1.184	0.0377	0.617
70	0.379	1.273	0.0274	—
80	0.174	1.316	0.0141	—
90	-0.043	1.311	0.0004	0.627

Tab. 2: $\delta_S = 15^\circ$; $R_n = 0,243 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N
0	0.267	0.114	0.0420
5	0.451	0.162	0.0684
10	0.630	0.237	0.0960
15	0.815	0.348	0.1291
20	0.976	0.491	0.1551
25	1.076	0.645	0.1723
30	1.113	0.805	0.1834
35	1.088	0.925	0.1518
40	0.927	0.974	0.0958
45	0.832	1.016	0.0648

Tab. 3: $\delta_S = 20^\circ$; $R_n = 0,242 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N
0	0.307	0.120	0.0465
5	0.503	0.176	0.0690
10	0.680	0.261	0.0980
15	0.883	0.377	0.1193
20	1.045	0.532	0.1506
25	1.151	0.697	0.1670
30	1.189	0.854	0.1697
35	1.176	0.992	0.1515
40	1.039	1.054	0.0961
50	0.779	1.128	0.0416
60	0.599	1.230	0.0222
70	0.416	1.311	0.0189
80	0.196	1.342	0.0143
90	-0.023	1.292	0.0051

Tab. 4: $\delta_S = 30^\circ$; $R_n = 0,242 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N	C_K
0	0.373	0.134	0.0488	0.185
5	0.590	0.200	0.0683	—
10	0.797	0.299	0.0877	0.406
15	0.982	0.425	0.1086	0.501
20	1.138	0.573	0.1174	0.565
25	1.210	0.741	0.1268	0.620
30	1.246	0.901	0.1309	0.657
35	1.246	1.044	0.1229	0.675
40	1.144	1.117	0.0878	0.670
50	0.865	1.160	0.0366	—
60	0.661	1.242	0.0135	0.615
70	0.463	1.339	0.0196	—
80	0.231	1.317	0.0234	—
90	0.018	1.242	0.0135	0.541

Tab. 5: $\delta_S = 40^\circ$; $R_n = 0,242 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N
0	0.422	0.152	0.0414
5	0.655	0.224	0.0527
10	0.859	0.324	0.0668
15	1.038	0.448	0.0745
20	1.170	0.581	0.0849
25	1.246	0.731	0.0932
30	1.270	0.890	0.0907
35	1.258	1.029	0.0941
40	1.186	1.124	0.0654
45	1.063	1.135	0.0386
50	0.933	1.196	0.0289
60	0.723	1.298	0.0184
70	0.496	1.354	0.0144
80	0.255	1.323	0.0190
90	0.044	1.206	0.0312

Tab. 6: $\delta_S = 45^\circ$; $R_n = 0,241 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N	C_K
0	0.448	0.155	0.0322	0.185
5	0.667	0.233	0.0435	—
10	0.871	0.327	0.0500	0.377
15	1.036	0.443	0.0590	0.446
20	1.176	0.573	0.0680	0.501
25	1.246	0.713	0.0728	0.540
30	1.270	0.868	0.0697	0.557
35	1.258	1.010	0.0745	—
40	1.192	1.100	0.0643	0.562
45	1.071	1.154	0.0334	—

Tab. 7: $\delta_S = 50^\circ$; $R_n = 0,240 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N
0	0.440	0.186	0.0100
5	0.667	0.235	0.0356
10	0.871	0.325	0.0394
15	1.051	0.433	0.0479
20	1.164	0.553	0.0555
25	1.222	0.700	0.0665
30	1.258	0.844	0.0554
35	1.258	0.979	0.0570
40	1.198	1.074	0.0415
45	1.119	1.150	0.0263
50	0.989	1.230	0.0222
60	0.760	1.336	0.0099
70	0.503	1.348	0.0188
80	0.255	1.255	0.0317
90	0.054	1.063	0.0397

Tab. 8: $\delta_S = 60^\circ$; $R_n = 0,242 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N	C_K
0	0.443	0.172	0.0191	0.174
5	0.667	0.244	0.0184	—
10	0.863	0.330	0.0218	0.312
15	1.026	0.423	0.0284	0.346
20	1.151	0.532	0.0359	0.375
25	1.216	0.658	0.0423	0.393
30	1.252	0.801	0.0440	0.398
35	1.222	0.929	0.0412	—
40	1.195	1.048	0.0334	0.414
45	1.101	1.156	0.0220	—
50	0.976	1.236	0.0178	—
60	0.723	1.342	0.0055	0.409
70	0.472	1.292	0.0139	—
80	0.226	1.128	0.0332	—
90	0.034	1.053	-0.0543	0.219

Tab. 9: $\delta_S = 70^\circ$; $R_n = 0,241 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N
0	0.434	0.183	0.0064
5	0.673	0.249	0.0044
10	0.859	0.327	0.0095
15	1.014	0.414	0.0177
20	1.119	0.520	0.0217
25	1.198	0.635	0.0307
30	1.246	0.769	0.0371
35	1.188	0.892	0.0197
40	1.126	1.010	0.0172
50	0.927	1.218	0.0133
60	0.704	1.336	0.0099
70	0.442	1.230	0.0222
80	0.181	0.987	0.0209
90	0.006	0.685	0.0130

Tab. 10: $\delta_S = 75^\circ$; $R_n = 0,241 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N	C_K
0	0.434	0.187	-0.0006	0.118
5	0.667	0.251	-0.0009	—
10	0.847	0.327	0.0024	0.167
15	0.995	0.410	0.0097	0.173
20	1.125	0.516	0.0190	0.173
25	1.213	0.616	0.0226	0.171
30	1.234	0.759	0.0300	0.167
35	1.176	0.868	0.0195	—
40	0.995	0.997	0.0188	0.170
45	0.995	1.089	0.0135	—

Tab. 11: $\delta_S = 80^\circ$; $R_n = 0,241 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N
0	0.422	0.189	-0.0036
5	0.000	0.302	-0.0079
10	0.835	0.325	0.0006
15	0.976	0.402	0.0070
20	1.107	0.501	0.0167
25	1.182	0.610	0.0177
30	1.192	0.742	0.0259
35	1.157	0.861	0.0247
40	1.057	0.977	0.0125
50	0.871	1.151	0.0127
60	0.630	1.212	0.0176
70	0.354	1.004	0.0224
80	0.126	0.734	0.0139
90	0.000	0.302	-0.0079

Tab. 12: $\delta_S = 90^\circ$; $R_n = 0,243 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N
0	0.381	0.190	-0.0116
5	0.624	0.253	-0.0132
10	0.797	0.315	0.0083
15	0.958	0.400	0.0026
20	1.077	0.482	0.0117
25	1.170	0.592	0.0188
30	1.192	0.708	0.0225
35	1.138	0.823	0.0147
40	1.002	0.919	0.0173
50	0.780	1.039	0.0170
60	0.541	0.996	0.0237
70	0.256	0.735	0.0148
80	0.062	0.329	-0.0007
90	-0.011	0.223	0.0002

Tab. 13: $\delta_S = 100^\circ$; $R_n = 0,243 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N
0	0.358	0.197	-0.0190
5	0.596	0.252	-0.0159
10	0.785	0.319	-0.0074
15	0.927	0.397	0.0035
20	1.057	0.480	0.0170
25	1.129	0.587	0.0135
30	1.151	0.693	0.0074
35	1.082	0.800	0.0083
40	0.939	0.864	0.0124
50	0.667	0.893	0.0201
60	0.408	0.742	0.0166
70	0.137	0.373	0.0085
80	0.037	0.224	0.0152

Tab. 14: $\delta_S = 105^\circ$; $R_n = 0,243 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N
0	0.268	0.178	-0.0218
5	0.531	0.230	-0.0178
10	0.723	0.295	-0.0089
15	0.889	0.367	0.0041
20	1.020	0.451	0.0167
25	1.107	0.544	0.0144
30	1.132	0.648	0.0109
35	1.069	0.745	0.0083
40	0.909	0.792	0.0153
45	0.754	0.809	0.0234

Tab. 15: $\delta_S = 110^\circ$; $R_n = 0,241 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N
0	0.237	0.172	-0.0245
5	0.490	0.225	-0.0183
10	0.692	0.291	-0.0067
15	0.865	0.356	0.0049
20	1.002	0.440	0.0193
25	1.089	0.535	0.0210
30	1.089	0.625	0.0090
35	1.038	0.717	0.0049
40	0.877	0.748	0.0074
50	0.534	0.665	0.0111
60	0.229	0.397	0.0087
70	0.087	0.223	0.0249

Tab. 16: $\delta_S = 120^\circ$; $R_n = 0,241 \cdot 10^6$

ϵ_S	C_C	C_D	C_N
0	0.123	0.152	-0.0313
5	0.363	0.180	-0.0209
10	0.605	0.245	-0.0054
15	0.791	0.316	0.0072
20	0.939	0.393	0.0197
25	1.026	0.483	0.0192
30	1.032	0.563	0.0018
35	0.964	0.614	-0.0180
40	0.809	0.608	-0.0216

Modell Segler nach Pröls

Masten gestaffelt eingestellt $A = 0,4092 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,033 \text{ m}$

Tab. 18: $-\delta_S = 15^\circ/10^\circ$; $R_n = 0,240 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N
0	0.333	0.130	0.0324
5	0.521	0.188	0.0625
10	0.698	0.273	0.0945
15	0.877	0.391	0.1277
20	1.032	0.540	0.1551
25	1.113	0.694	0.1732
30	1.125	0.838	0.1868
35	1.057	0.944	0.1462
40	0.883	0.972	0.0795

Tab. 19: $-\delta_S = 20^\circ/10^\circ$; $R_n = 0,240 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N
0	0.484	0.171	0.0293
5	0.667	0.248	0.0542
10	0.865	0.356	0.0838
15	1.045	0.495	0.1145
20	1.188	0.654	0.1472
25	1.210	0.814	0.1680
30	1.198	0.952	0.1684
35	1.119	1.057	0.1410
40	0.927	1.074	0.0737
50	0.704	1.148	0.0373
60	0.509	1.255	0.0136
70	0.293	1.303	0.0140
80	0.079	1.322	0.0001
90	-0.134	1.268	-0.0225

Tab. 20: $-\delta_S = 30^\circ/10^\circ$; $R_n = 0,241 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_K
0	0.815	0.315	0.0050	0.435
5	1.008	0.439	0.0298	—
10	1.194	0.573	0.0583	0.620
15	1.307	0.728	0.0875	0.701
20	1.367	0.903	0.1062	0.777
25	1.379	1.047	0.1321	0.805
30	1.319	1.169	0.1332	0.820
35	1.157	1.231	0.0967	0.775
40	0.896	1.208	0.0312	0.713
50	0.648	1.242	0.0223	—
60	0.442	1.311	0.0097	0.671
70	0.219	1.361	-0.0084	—
80	-0.013	1.279	-0.0043	—
90	-0.211	1.188	-0.0002	0.586

Tab. 21: $-\delta_S = 40^\circ/15^\circ$; $R_n = 0,241 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N
0	0.996	0.416	-0.0233
5	1.182	0.544	-0.0014
10	1.307	0.702	0.0180
15	1.391	0.847	0.0391
20	1.464	1.000	0.0656
25	1.428	1.127	0.0746
30	1.343	1.250	0.0836
35	1.169	1.307	0.0506
40	0.896	1.238	0.0095
50	0.648	1.279	0.0045
60	0.428	1.336	0.0011
70	0.191	1.299	0.0003
80	-0.024	1.230	0.0045
90	-0.188	1.063	0.0119

Tab. 22: $-\delta_S = 45^\circ/15^\circ$; $R_n = 0,244 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_K
0	1.125	0.509	-0.0414	0.574
5	1.258	0.648	-0.0239	—
10	1.379	0.794	-0.0037	0.715
15	1.464	0.945	0.0162	0.766
20	1.494	1.097	0.0400	0.800
25	1.422	1.220	0.0613	0.808
30	1.282	1.296	0.0510	0.786
35	1.045	1.275	0.0102	0.727
40	0.853	1.262	0.0013	0.680

Tab. 23: $-\delta_S = 50^\circ/20^\circ$; $R_n = 0,243 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N
0	1.119	0.514	-0.0533
5	1.240	0.639	-0.0390
10	1.367	0.785	-0.0236
15	1.452	0.935	-0.0068
20	1.488	1.085	0.0117
25	1.452	1.230	0.0270
30	1.294	1.296	0.0241
35	1.083	1.307	-0.0129
40	0.889	1.294	0.0047
50	0.624	1.342	-0.0033
60	0.379	1.336	0.0011
70	0.155	1.255	0.0136
80	-0.036	1.118	0.0062
90	-0.151	0.939	0.0293

Tab. 24: $-\delta_S = 60^\circ/30^\circ$; $R_n = 0,241 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_K
0	1.113	0.499	-0.0658	0.504
5	1.222	0.628	-0.0558	—
10	1.343	0.760	-0.0414	0.585
15	1.415	0.900	-0.0363	0.625
20	1.452	1.070	-0.0237	0.637
25	1.428	1.224	-0.0127	0.662
30	1.270	1.320	-0.0127	0.648
35	1.089	1.319	-0.0392	—
40	0.909	1.337	-0.0254	0.583
50	0.624	1.330	-0.0122	—
60	0.387	1.292	0.0060	0.509
70	0.169	1.149	0.0171	—
80	0.000	0.981	0.0253	—
90	-0.132	0.784	0.0139	—

Tab. 25: $-\delta_S = 70^\circ/45^\circ$; $R_n = 0,242 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N
0	0.970	0.422	-0.0559
5	1.131	0.524	-0.0479
10	1.234	0.647	-0.0407
15	1.307	0.784	-0.0337
20	1.355	0.935	-0.0337
25	1.367	1.093	-0.0332
30	1.246	1.241	-0.0364
35	1.089	1.319	-0.0480
40	0.982	1.399	-0.0606
50	0.680	1.397	-0.0346
60	0.416	1.286	-0.0003
70	0.188	1.106	0.0079
80	0.000	0.889	0.0016
90	-0.116	0.610	-0.0141

Tab. 26: $-\delta_S = 75^\circ/50^\circ$; $R_n = 0,240 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_K
0	0.952	0.419	-0.0576	0.347
5	1.113	0.521	-0.0471	—
10	1.198	0.633	-0.0452	0.382
15	1.294	0.766	-0.0418	0.397
20	1.331	0.915	-0.0427	0.407
25	1.294	1.053	-0.0398	0.428
30	1.198	1.200	-0.0473	0.431
35	1.038	1.276	-0.0625	0.438
40	0.927	1.367	-0.0657	0.430

Tab. 27: $-\delta_S = 80^\circ/60^\circ$; $R_n = 0,243 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N
0	0.865	0.359	-0.0405
5	1.020	0.448	-0.0353
10	1.151	0.553	-0.0282
15	1.234	0.670	-0.0277
20	1.270	0.801	-0.0349
25	1.258	0.955	-0.0362
30	1.213	1.093	-0.0324
35	1.045	1.187	-0.0377
40	0.933	1.282	-0.0395
50	0.692	1.354	-0.0402
60	0.416	1.181	-0.0056
70	0.175	0.957	-0.0119
80	0.012	0.645	0.0164
90	-0.075	0.264	-0.0365

Tab. 28: $-\delta_S = 90^\circ/80^\circ$; $R_n = 0,243 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N
0	0.636	0.264	-0.0255
5	0.815	0.335	-0.0169
10	0.970	0.413	-0.0101
15	1.089	0.509	-0.0017
20	1.182	0.612	-0.0039
25	1.221	0.739	-0.0072
30	1.176	0.862	-0.0070
35	1.076	0.974	-0.0131
40	0.927	1.042	-0.0081
50	0.692	1.121	-0.0087
60	0.434	0.982	0.0068
70	0.188	0.699	0.0043
80	0.012	0.289	-0.0160
90	-0.053	0.227	-0.0174

Vortragsveranstaltung „Kupfer - Gußwerkstoffe“

Das Deutsche Kupfer-Institut führt gemeinsam mit dem Verein Deutscher Gießerei-Fachleute am 13. April 1967 eine Vortragsfolge unter dem Thema „Kupfer-Gußwerkstoffe — Konstruktive Gestaltung, Korrosionsbeständigkeit, Anwendungsgebiete bekannter und neuer Gußlegierungen“ im „Haus der Wissenschaften“, 4 Düsseldorf, Palmenstraße 16, durch. Beginn der Veranstaltung 9.00 Uhr, Ende gegen 18.00 Uhr.

Es werden die folgenden Themen behandelt:

Konstruktive Gestaltung von Gußteilen aus Kupferwerkstoffen, Einsatz der Gußwerkstoffe auf Kupferbasis unter verschiedenen Korrosionsbeanspruchungen, Entwicklungstendenzen in der Herstellung und Verwendung von Rot-

gußteilen, Lagerwerkstoffe aus Kupfer-Gußlegierungen, Kupfer-Aluminium-Legierungen — ihre Eigenschaften und Anwendung in der Technik, Gußstücke aus Kupfer-Nickel-Legierungen, Aufbau von Verbundlagern aus Kupfer-Gußwerkstoffen und deren Anwendung.

Eine Teilnehmergebühr wird nicht erhoben, und Einladungsprospekte werden auf Wunsch zugesandt. Anfragen und Anmeldungen sind zu richten an:

Deutsches Kupfer-Institut, 1 Berlin 12, Knesbeckstr. 96, Ruf: (0311) 31 02 71.

Verein Deutscher Gießerei-Fachleute, 4 Düsseldorf, Sohnstraße 70, Ruf: (0211) 66 63 51.