

127 | 1964

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

K.H. Kwik

# Anwendungsbeispiele zur Darstellung der Profilform von Schiffsrudern

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

# Anwendungsbeispiele zur Darstellung der Profilform von Schiffsrudern

Von K. H. Kwik

Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

Die Ruderprofilsystematik ist ein gutes Hilfsmittel zur Entwicklung von Ruderprofilen, mit denen bessere Rudereigenschaften erzielt werden sollen [1]. In der vorliegenden Arbeit wird über die Darstellung von Ruderprofilen durch Polynome berichtet. Es wird an Hand von Beispielen gezeigt, wie man Ruderprofile mittels relativ einfacher Polynome entwerfen und gestraakt vorgegebene Profilkonturen analysieren und durch entsprechende Polynome ausdrücken kann. Diese Arbeit stellt eine Anwendung einer früheren mehr grundlegenden Mitteilung [2] dar.

## A. Grundlagen

Ziel dieser Arbeit ist, an Hand von Beispielen zu demonstrieren, wie man Ruderprofile durch relativ einfache Polynome darstellen kann. Es soll der Vorgang beim Entwerfen neuer Ruderprofile und bei der Analyse gestraakter Profilkonturen im einzelnen dargelegt werden. In einer früheren Arbeit [2] wurde bereits ausführlich über die Grundlagen zur Darstellung der Profilform von Schiffsrudern berichtet. Zum Verständnis der in den nächsten Abschnitten aufgeführten Beispiele ist die Kenntnis der Grundlagen unumgänglich. Es ist nicht beabsichtigt, an dieser Stelle die Grundlagen in ihrem ganzen Umfang zu wiederholen. Eine Zusammenfassung mit ergänzenden Bemerkungen zur Beseitigung eventueller Unklarheiten ist jedoch angebracht.

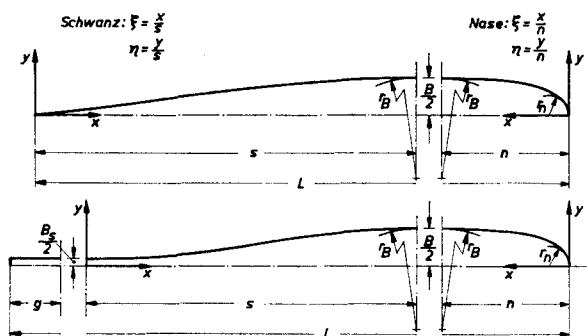


Abb. 1: Die Zerstückelung von Ruderprofil-Konturen bei der Darstellung durch Polynome

Bei der mathematischen Darstellung eines Ruderprofils ist es zweckmäßig, das Profil in einen Nasenteil und einen Schwanzteil und gegebenenfalls auch in einen Geradeteil aufzuteilen (Abb. 1). Der Nasenteil umfaßt jenen Teil des Profils von der Nase bis zur Stelle der größten Dicke, der Schwanzteil jenen Teil von der Stelle der größten Dicke bis zum hinteren Profilende. Ist am hinteren Profilende ein Geradeteil angeschlossen, so erstreckt sich der Schwanzteil nur bis zur Stelle, wo die Kontur in die Gerade übergeht. Das Polynom ist getrennt für jeden dieser Profilmteile aufzustellen. Der Vorteil dieser Zerstückelung ist, daß man auch für die ausgefallensten Profilformen mit Polynomen niedrigen Grades auskommt, da jeder dieser Profilmteile durch ein Polynom niedrigen Grades dargestellt werden kann. Die Polynome sind so beschaffen, daß an den Verbindungsstellen die Funktion, ihre erste und ihre zweite Ableitung stetig sind.

Jede Teilkontur eines Profils kann mathematisch durch die Summe von je mit einem Konturparameter multiplizierten Einflußfunktionen dargestellt werden:

$$\eta_{\text{ges}}(\xi) = \sum (\text{Konturparameter} \cdot \text{Einflußfunktion}). \quad (1)$$

Jede Einflußfunktion ist ein Polynom bestimmten Grades der Form:

$$\eta = a_0 + a_{0,5} \xi^{1/2} + a_1 \xi + a_2 \xi^2 + a_3 \xi^3 + \dots \quad (2)$$

wobei  $\eta = \frac{y}{A}$  eine dimensionslose Ordinate und  $\xi = \frac{x}{A}$

die zugehörige dimensionslose Abszisse ist. A ist eine Bezugsgröße und wird für den Nasenteil gleich der Nasenlänge n und für den Schwanzteil gleich der Schwanzlänge s gewählt (Abb. 1). Für Profilkonturen haben wir folgende Konturparameter festgelegt:

die Anfangsabrundung  $\varrho_0 = a_{0,5} = \sqrt{\frac{2 r_n}{A}}$ ,  
(kommt normalerweise nur für den Nasenteil in Betracht)

die Anfangsordinate  $\eta_0 = \eta(\xi = 0) = a_0 = \frac{B_s}{2A}$ ,  
(kommt normalerweise nur in Betracht für den Schwanzteil, wenn dieser mit einer endlichen Dicke beginnt)

die Anfangsneigung  $\eta'_0 = \eta'(\xi = 0) = a_1$   
die Anfangskrümmung  $\eta''_0 = \eta''(\xi = 0) = 2a_2$  (3)

die Endordinate  $\eta_1 = \eta(\xi = 1) = \frac{B}{2A}$ ,

die Endneigung  $\eta'_1 = \eta'(\xi = 1)$   
(ist durch die Zerstückelung der Kontur nach Abb. 1 gleich Null)

die Endkrümmung  $\eta''_1 = \eta''(\xi = 1) = \frac{A}{r_B}$  und

den Flächeninhalt  $\varepsilon_F = \int_0^1 \eta d\xi$ .

Beim Entwurf eines Profils werden meist nur einige dieser Parameter vorgegeben; bei der Analyse sind sie aus der vorgegebenen Kontur zu ermitteln. Die übrigen Parameter ergeben sich dann zwangsläufig. Jede Einflußfunktion (2) ist nun so beschaffen, daß immer einer der vorgeschriebenen Parameter gleich eins ist, während die übrigen vorgeschriebenen Parameter zu Null werden. Der Grad der Funktion ist gleich der Anzahl der vorgeschriebenen Parameter ohne Anrechnung von  $\varrho_0$  und  $\eta_0$ . Sind die Parameter einer Kontur einmal vorgegeben, so ergibt sich die Gesamtfunktion (1) als Summe der Produkte von Parametern und zugehörigen Einflußfunktionen. Unter „zugehöriger Einflußfunktion“ verstehen wir dabei jene Einflußfunktion, deren Parameter, mit dem sie zu multiplizieren ist, gleich eins ist und deren andere, zur Darstellung der Kontur vorgegebenen Parameter gleich Null sind. Nach den vorgeschriebenen Parametern werden die Einflußfunktionen symbolisch bezeichnet.

$\frac{4 \cdot \eta_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta'_0 \eta'_1 \eta''_1}$  gibt zum Beispiel die Einflußfunktion 4. Grades

an, deren Parameter  $\eta_1 = 1$  und  $\varrho_0 = \eta_0 = \eta'_0 = \eta'_1 = \eta''_1 = 0$  vorgeschrieben sind. Zahlreiche Einflußfunktionen zur Darstellung von Profilkonturen und Schiffslinien sind in einem Tabellenwerk [3] zusammengestellt worden. Tabelle 1 ist ein kleiner Auszug aus diesem Tabellenwerk und gibt die Funktionen und ihre Aufmaße wieder, die zur Darstellung von Ruderprofilkonturen benutzt werden.

Zur Darstellung des Nasenteils eines Profils genügt die Angabe der Parameter  $\varrho_0, \eta_0, \eta'_0, \eta_1, \eta'_1$ , und  $\eta''_1$ , wobei durch das Koordinatensystem nach Abb. 1 und durch die Zerstückelung des Profils  $\eta_0 = \eta'_1 = 0$  ist. Nach dem Vorhergesagten lautet die Gesamtfunktion in symbolischer Schreibweise:

$$\eta = \varrho_0 \cdot \left( \frac{4 \cdot \varrho_0}{\eta_0 \eta'_0 \eta_1 \eta'_1 \eta''_1} \right) + \eta'_0 \cdot \left( \frac{4 \cdot \eta'_0}{\varrho_0 \eta_0 \eta_1 \eta'_1 \eta''_1} \right) + \eta_1 \cdot \left( \frac{4 \cdot \eta_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta'_0 \eta'_1 \eta''_1} \right) + \eta''_1 \cdot \left( \frac{4 \cdot \eta''_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta'_0 \eta_1 \eta'_1} \right) \quad (4a)$$

Die der symbolischen Schreibweise entsprechenden Einflußfunktionen sind Tab. 1 zu entnehmen. Die Gesamtfunktion lautet dann voll ausgeschrieben:

Tabelle 1: Einflußfunktionen zur Darstellung von Ruderprofilen und ihre Aufmaße

Lfd. Nr.	Einflußfunktion	$\xi$ Symbolik	0	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I	$\eta = \xi^{1/2} - 4,375 \xi^2 + 5,25 \xi^3 - 1,875 \xi^4$	$\frac{4 \cdot \varrho_0}{\eta_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta'_1 \eta''_1}$	0	0,139713	0,213314	0,277540	0,305630	0,311214	0,280535	0,220456	0,152419	0,090597	0,043473	0,014427	0,001996	0
II	$\eta = \xi - 3 \xi^2 + 3 \xi^3 - \xi^4$	$\frac{4 \cdot \eta'_0}{\varrho_0 \eta_0 \eta'_1 \eta''_1}$	0	0,018824	0,042869	0,072900	0,092119	0,102400	0,102900	0,086400	0,062500	0,038400	0,018900	0,006400	0,000900	0
III	$\eta = 6 \xi^2 - 8 \xi^3 + 3 \xi^4$	$\frac{4 \cdot \eta_1}{\varrho_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta'_1 \eta''_1}$	0	0,002336	0,014019	0,052300	0,109519	0,180800	0,348300	0,524800	0,687500	0,820800	0,916300	0,972800	0,996300	1
IV	$\eta = 0,5 \xi^2 - \xi^3 + 0,5 \xi^4$	$\frac{4 \cdot \eta''_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta'_1 \eta''_1}$	0	0,000192	0,001128	0,004050	0,008128	0,012800	0,022050	0,028800	0,031250	0,028800	0,022050	0,012800	0,004050	0
V	$\eta = 1 - 10 \xi^3 + 15 \xi^4 - 6 \xi^5$	$\frac{5 \cdot \eta_0}{\varrho_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta'_1 \eta''_1}$	1	0,999922	0,998842	0,991440	0,973388	0,942080	0,836920	0,682560	0,500000	0,317440	0,163080	0,057920	0,008560	0
VI	$\eta = 10 \xi^3 - 15 \xi^4 + 6 \xi^5$	$\frac{5 \cdot \eta_1}{\varrho_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta'_1 \eta''_1}$	0	0,000078	0,001158	0,008560	0,026612	0,057920	0,163080	0,317440	0,500000	0,682560	0,836920	0,942080	0,991440	1
VII	$\eta = 0,5 \xi^3 - \xi^4 + 0,5 \xi^5$	$\frac{5 \cdot \eta'_1}{\varrho_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta'_1 \eta''_1}$	0	0,000004	0,000056	0,000405	0,001219	0,002560	0,006615	0,01520	0,015625	0,017280	0,015435	0,010240	0,003645	0
VIII	$\eta = \xi^{1/2} - 13,125 \xi^2 + 31,5 \xi^3 - 28,125 \xi^4 + 8,75 \xi^5$	$\frac{5 \cdot \varrho_0}{\eta_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta'_1 \eta''_1}$	0	0,136419	0,194559	0,213753	0,184725	0,132014	0,010423	-0,081944	-0,121018	-0,111003	-0,072290	-0,030373	-0,005092	0
IX	$\eta = \xi - 6 \xi^2 + 12 \xi^3 - 10 \xi^4 + 3 \xi^5$	$\frac{5 \cdot \eta'_0}{\varrho_0 \eta_0 \eta'_1 \eta''_1}$	0	0,017694	0,036438	0,051030	0,050665	0,040960	0,010290	-0,017280	-0,031250	-0,030720	-0,020790	-0,008960	-0,001530	0
X	$\eta = -30 \xi^2 + 100 \xi^3 - 105 \xi^4 + 36 \xi^5$	$\frac{5 \cdot \eta_1}{\varrho_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta'_1 \eta''_1}$	0	-0,011217	-0,063145	-0,210140	-0,387922	-0,556480	-0,763020	-0,719360	-0,437500	-0,008640	0,440020	0,788480	0,967140	1
XI	$\eta = -0,5 \xi^2 + 2 \xi^3 - 2,5 \xi^4 + \xi^5$	$\frac{5 \cdot \eta'_1}{\varrho_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta'_1 \eta''_1}$	0	-0,000184	-0,001015	-0,003240	-0,005690	-0,007680	-0,008820	-0,005760	0	0,005760	0,008820	0,007680	0,003240	0
XII	$\eta = 60 \xi^2 - 180 \xi^3 + 180 \xi^4 - 60 \xi^5$	$\frac{5 \cdot \xi^5}{\varrho_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta'_1 \eta''_1}$	0	0,022589	0,128606	0,437400	0,829069	1,228800	1,852200	2,073600	1,875000	1,382400	0,793800	0,307200	0,048600	0

$$\eta = \varrho_0 (\xi^{1/2} - 4,375 \xi^2 + 5,25 \xi^3 - 1,875 \xi^4) + \eta'_0 (\xi - 3 \xi^2 + 3 \xi^3 - \xi^4) + \eta''_1 (6 \xi^2 - 8 \xi^3 + 3 \xi^4) + \eta'''_1 (0,5 \xi^2 - \xi^3 + 0,5 \xi^4) \quad (4b)$$

Damit keine Beulen oder Abflachungen im Nasenteil auftreten, müssen die Parameter in solch einem Verhältnis zueinander stehen, daß  $\eta''' (\xi = 1) \geq 0$  und  $\eta'''' (\xi = 1) \leq 0$  ist. Oder es müssen die Bedingungen gelten:

$$\left. \begin{aligned} \eta'_0 &\leq 4 \eta_1 + \eta''_1 - \frac{35}{16} \varrho_0 \\ \eta'_0 &\geq 3 \eta_1 + \frac{1}{2} \eta''_1 - \frac{245}{128} \varrho_0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Zur Darstellung des Schwanzteils eines nach hinten spitz zulaufenden Profils (Profiltyp Ifs 52 TR..., siehe Abb. 2) genügt die Angabe derselben Parameter wie zur Darstellung des Nasenteils. Mit dem Koordinatensystem nach Abb. 1 ist außer  $\eta_0$  und  $\eta'_1$  jetzt auch  $\varrho_0$  gleich Null, da der Schwanzteil keine „Anfangsabrundung“ hat. Es gelten somit die Formeln (4a) und (4b) auch für den Schwanzteil, wenn man dort  $\varrho_0 = 0$  einsetzt. Beulen oder Abflachungen werden im Schwanzteil vermieden, wenn  $\eta'' \neq 0$  ist für  $0 < \xi < 1$  oder wenn

$$\frac{3 \eta'_0 - \eta''_1 - 8 \eta_1}{4 \eta'_0 - 2 \eta''_1 - 12 \eta_1} \text{ entweder } \leq 0 \text{ oder } \geq 1 \text{ ist.} \quad (6)$$

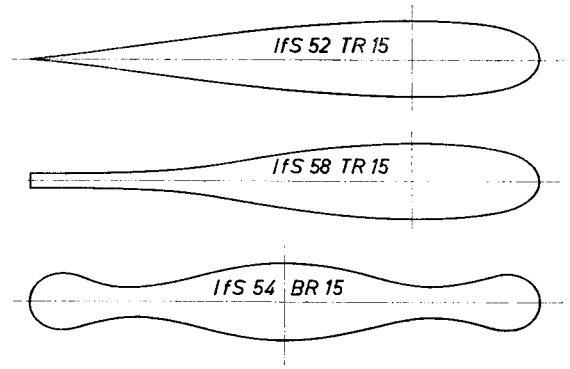


Abb. 2: Beispiele gerechneter Ruderprofile

Man erhält hohle Flanken am Profilende, wenn  $\eta'' (\xi = 0) > 0$  oder wenn

$$\eta'_0 < \frac{1}{6} \eta''_1 + 2 \eta_1 \text{ ist.} \quad (7)$$

(Für  $\eta'_0 > \frac{1}{6} \eta''_1 + 2 \eta_1$  erhält man konvexe Flanken.)

Zur Darstellung des Schwanzteils eines Profils, dessen Flanken hinten in parallele Geraden übergehen (Profiltyp Ifs 58 TR..., Abb. 2), ist außer den Parametern  $\varrho_0, \eta_0, \eta'_0, \eta_1, \eta'_1$  und  $\eta''_1$  auch noch der Parameter  $\eta''_0$  vorzuschreiben. Dieser Parameter muß gleich Null vorgegeben werden, damit die zweite Ableitung der Kontur auch beim Übergang zur Geraden stetig bleibt. Mit dem Koordinatensystem nach Abb. 1 ist  $\varrho_0 = \eta'_0 = \eta''_0 = \eta'_1 = 0$ . Die Gesamtfunktion ist eine Funktion 5. Grades und lautet in symbolischer Schreibweise:

$$\eta = \eta_0 \cdot \left( \frac{5 \cdot \eta_0}{\varrho_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta_1 \eta'_1 \eta''_1} \right) + \eta_1 \cdot \left( \frac{5 \cdot \eta_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta'_1 \eta''_1} \right) + \eta''_1 \cdot \left( \frac{5 \cdot \eta''_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta'_0 \eta''_0 \eta_1 \eta'_1} \right) \quad (8a)$$

Die der symbolischen Schreibweise entsprechenden Einflußfunktionen sind wieder Tab. 1 zu entnehmen. Voll ausgeschrieben lautet die Gesamtfunktion dann:

$$\eta = \eta_0 (1 - 10 \xi^3 + 15 \xi^4 - 6 \xi^5) + \eta_1 (10 \xi^3 - 15 \xi^4 + 6 \xi^5) + \eta''_1 (0,5 \xi^2 - \xi^3 + 0,5 \xi^4) \quad (8b)$$

Zur Vermeidung von „Entartungen“ im Schwanzteil muß die Bedingung  $\eta'' (\xi = 0) \geq 0$  erfüllt sein. Mit den Bezeichnungen nach Abb. 1 läßt sich diese Bedingung auch schreiben:

$$\left(\frac{\eta''_1}{\eta_1}\right)_n \leq 20 \left(\frac{n}{s}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{B_s}{B}\right), \quad (9)$$

wobei das Verhältnis der Nasenparameter  $\left(\frac{\eta''_1}{\eta_1}\right)_n$  positiv zu nehmen ist.

### B. Entwurf neuer Ruderprofile

Man kann zwei Klassen von Balanceruderprofilen unterscheiden. Die eine Klasse umfaßt Profile mit keilförmig zulaufender Hinterkante und die andere Klasse solche mit hinten parallel zur Symmetrieachse auslaufenden, geraden Flanken. Zu der erstgenannten Klasse gehören die bekannten NACA-Profile (mit endlicher Hinterkantendicke) und Profile der Form IFS 52 TR... (mit verschwindender Hinterkantendicke), zu der letztgenannten Klasse Profile der Form IFS 58 TR..., IFS 61 TR... und IFS 62 TR... (Abb. 2 in diesem Bericht und Abb. 8, 9 und 11 in [1]). Es wird jetzt demonstriert, wie man Balanceruderprofile beider Klassen vermittels der im vorigen Abschnitt erwähnten Einflußfunktionen erzeugen kann. Es wird außerdem über den Entwurf des Bugruderprofils IFS 54 BR 15 berichtet.

Soll ein Balanceruderprofil entworfen werden, so werden meistens das Dickenverhältnis  $\frac{B}{L}$  und die Dickenrücklage  $\frac{n}{L}$  vorgegeben. Zum Entwurf eines Profils der Form IFS 58 TR... usw. werden außerdem die Dicke am Profilende  $B_s$  und die Länge des Geradeteils  $g$  festgelegt. Mit diesen Angaben kann man sowohl für den Nasen- als auch für den Schwanzteil sofort den Parameter  $\eta_1$  bzw. auch den Parameter  $\eta_0$  für den Schwanzteil eines Profils der Form IFS 58 TR... usw. ermitteln. Die anderen Parameter des Nasenteils ( $\varrho_0$ ,  $\eta'_0$  und  $\eta''_1$ ) sind unter Beachtung der Bedingungen (5) frei zu wählen. Hinsichtlich des Vorzeichens sei bemerkt, daß  $\varrho_0$  immer positiv,  $\eta''_1$  dagegen immer negativ ist, während  $\eta'_0$  positiv oder negativ oder auch null sein kann, je nachdem, ob das Profil eine überparabolische, eine unterparabolische oder eine rein parabolische Nase hat. Für ein Profil der Form IFS 58 TR... usw. ist der Parameter  $\eta''_1$  des Nasenteils außerdem so zu wählen, daß die Bedingung (9) erfüllt ist, damit Entartungen im Schwanzteil nicht auftreten. Ist der Parameter  $\eta''_1$  des Nasenteils festgelegt, so ergibt sich der Parameter  $\eta''_1$  des Schwanzteils zwangsläufig aus der Beziehung:

$$\eta''_1 (\text{Schwanzteil}) = \eta''_1 (\text{Nasenteil}) \cdot \frac{s}{n}.$$

Für den Schwanzteil eines Profils der Form IFS 52 TR... ist also nur noch der Parameter  $\eta'_0$  frei wählbar. Dieser Parameter (positiv!) ist unter Beachtung der Bedingungen (6) und (7) festzulegen.

Der Nasenteil des Profils wird durch Formel (4a) dargestellt, der Schwanzteil eines Profils der Form IFS 52 TR... ebenfalls durch Formel (4a), wobei  $\varrho_0 = 0$  eingesetzt wird. Der Schwanzteil eines Profils der Form IFS 58 TR... usw. wird dagegen durch Formel (8a) dargestellt. Die Formeln (4a) und (8a) bestimmen die Polynome eindeutig. Es ist nicht erforderlich, die Formeln in der Form (4b) und (8b) voll auszuschreiben. Dies ist dort nur zur Vervollständigung und zur Entzifferung der symbolischen Schreibweisen (4a) und (8a) geschehen. Die Aufmaße der in (4a) und (8a) in Klammern gesetzten Einflußfunktionen sind bereits gerechnet worden [3] und der Tabelle 1 zu entnehmen. Zur Berechnung der Profilaufmaße braucht man also nur die Aufmaße der Einflußfunktionen mit den zugehörigen Parametern zu multiplizieren und die Produkte nach (4a) oder (8a) miteinander zu addieren.

Die Parameter und Aufmaße aller bisher am Institut für Schiffbau der Universität Hamburg entworfenen und experimentell untersuchten Ruderprofile sind in [1] bzw. [4] mitgeteilt. Für den Nasenteil jedes Balanceruderprofils sind folgende Parameterverhältnisse gewählt worden:

$$\frac{\varrho_0}{\eta_1} = \frac{56}{27} \cdot \frac{\eta'_0}{\eta_1} = -\frac{10}{9} \text{ und } \frac{\eta''_1}{\eta_1} = -\frac{4}{9}.$$

Daraus erhält man für den Nasenteil des Profils IFS 52 TR 15 mit  $\frac{B}{L} = 0,15$  und  $\frac{n}{L} = 0,25$  die Parameter

$$\eta_1 = 0,3; \varrho_0 = 0,6222; \eta'_0 = -0,3333; \eta''_1 = -0,1333.$$

Für den Schwanzteil des Profils ist der Parameter  $\eta'_0 = 0,1067$  gewählt worden. Die anderen Parameter des Schwanzteils ergeben sich zu

$$\eta_1 = 0,1; \eta''_1 = -0,4.$$

Das Profil IFS 52 TR 15 hat also hohle Flanken am Profilende (7). Zur Abkürzung der Formeln werden die Einflußfunktionen hier mit römischen Ziffern entsprechend der laufenden Nummer in Tab. 1 bezeichnet. Die Formel zur Darstellung des Nasenteils ist also

$$\eta = 0,6222 \cdot (I) - 0,3333 \cdot (II) + 0,3 \cdot (III) - 0,1333 \cdot (IV)$$

und jene zur Darstellung des Schwanzteils

$$\eta = 0,1067 \cdot (II) + 0,1 \cdot (III) - 0,4 \cdot (IV).$$

Tabelle 2: Berechnung der Aufmaße des Nasenteils des Ruderprofils IFS 52 TR 15

$\xi$												
	0	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
$\varrho_0 \cdot (I)$	0	0,08693	0,13272	0,17269	0,19016	0,19364	0,17455	0,13717	0,09484	0,05637	0,00898	0
$\eta_1 \cdot (III)$	0	0,00070	0,00421	0,01569	0,03286	0,05424	0,10449	0,15744	0,20625	0,24624	0,29184	0,3
$\eta'_0 \cdot (II)$	0	0,08763	0,13693	0,18838	0,22302	0,24788	0,27904	0,29461	0,30109	0,30261	0,30082	0,3
	0	-0,00627	-0,01429	-0,02430	-0,03070	-0,03413	-0,03430	-0,02880	-0,02083	-0,01280	-0,00213	0
$\eta''_1 \cdot (IV)$	0	0,08136	0,12264	0,16408	0,19232	0,21375	0,24474	0,26581	0,28026	0,28981	0,29869	0,3
	0	-0,00003	-0,00015	-0,00054	-0,00108	-0,00171	-0,00294	-0,00384	-0,00417	-0,00384	-0,00171	0
$\eta$	0	0,08133	0,12249	0,16354	0,19124	0,21204	0,24180	0,26197	0,27609	0,28597	0,29698	0,3

Tabelle 3: Berechnung der Aufmaße des Schwanzteils des Ruderprofils IFS 52 TR 15

$\xi$											
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\eta'_0 \cdot (II)$	0	0,00778	0,01093	0,01098	0,00922	0,00667	0,00410	0,00202	0,00068	0,00010	0
$\eta_1 \cdot (III)$	0	0,00523	0,01808	0,03483	0,05248	0,06875	0,08208	0,09163	0,09728	0,09963	0,1
$\eta''_1 \cdot (IV)$	0	0,01301	0,02901	0,04581	0,06170	0,07542	0,08618	0,09365	0,09796	0,09973	0,1
	0	-0,00162	-0,00512	-0,00882	-0,01152	-0,01250	-0,01152	-0,00882	-0,00512	-0,00162	0
$\eta$	0	0,01139	0,02389	0,03699	0,05018	0,06292	0,07466	0,08483	0,09284	0,09811	0,1

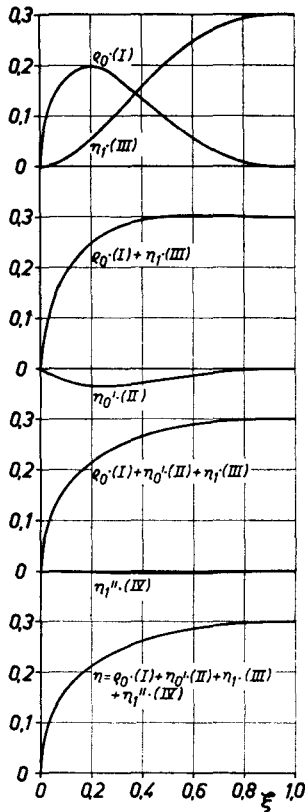


Abb. 3: Entstehung der Nasenkontur des Ruderprofils IFS 52 TR 15 durch die Überlagerung von Funktionen

Eine ausführliche Aufmaßberechnung ist in den Tabellen 2 und 3 durchgeführt. Solch eine ausführliche Berechnung ist erforderlich, wenn man den Einfluß der einzelnen Parameter auf die Profilform zeigen möchte, wie es in Abb. 3 und 4 graphisch geschehen ist. Dort ist zu sehen, wie sich die Profilkontur durch die Überlagerung der Produkte von Einflußfunktionen und Parametern allmählich formt. Außerdem ist die Ausführung der einzelnen Berechnungsstadien wie in Tabelle 2 und 3 bei einer Aufmaßberechnung mit Hilfe eines Rechenschiebers unumgänglich. Bei einer Berechnung mit Hilfe einer Rechenmaschine ist es dagegen nicht erforderlich, die einzelnen Stadien aufzuschreiben. Die ganze Berechnung besteht ja dank den tabellierten Einflußfunktionen nur aus einer einfachen Addition von Produkten, und dies kann von der Rechenmaschine ohne Unterbrechung durchgeführt werden. Bei Verwendung einer Rechenmaschine kann man also sofort das Endergebnis erhalten.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Aufmaße des Nasenteils auf die Nasenlänge  $n$  und jene des Schwanzteils auf die Schwanzlänge  $s$  bezogen sind, und daß gemäß Abb. 1 für beide Profiltile nicht ein und dasselbe Koordinatensystem verwendet wird. Soll das Koordinatensystem des Nasenteils für das ganze Profil gelten und sollen die Aufmaße auf die Profillänge  $L$  bezogen werden, so sind die Aufmaße beider Profiltile wie folgt umzurechnen:

$$\text{für den Nasenteil } \frac{x}{L} = \xi \cdot \frac{n}{L} ; \frac{y}{L} = \eta \cdot \frac{n}{L},$$

$$\text{für den Schwanzteil } \frac{x}{L} = 1 - \xi \cdot \frac{s}{L} ; \frac{y}{L} = \eta \cdot \frac{s}{L},$$

$\xi$  und  $\eta$  sind die Aufmaße bezogen auf  $n$  bzw.  $s$ .

Die Profile IFS 52 TR 12 und IFS 52 TR 18 wurden auf ähnliche Weise wie das Profil IFS 52 TR 15 gerechnet. Der einzige Unterschied lag im Dickenverhältnis  $\frac{B}{L}$ . Zur Aufmaßberechnung wurden dieselben, mit den entsprechenden Parametern versehenen Formeln benutzt.

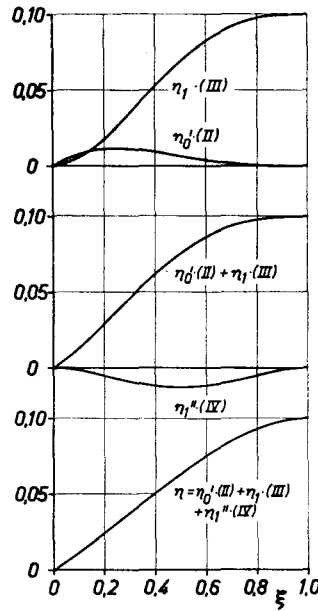


Abb. 4: Entstehung der Schwanzkontur des Ruderprofils IFS 52 TR 15 durch die Überlagerung von Funktionen

Das Profil IFS 58 TR 15 hat die Abmessungsverhältnisse  $\frac{B}{L} = 0,15$ ;  $\frac{B_s}{L} = 0,03$ ;  $\frac{n}{L} = 0,25$ ;  $\frac{s}{L} = 0,65$  und  $\frac{g}{L} = 0,10$ .

Der Nasenteil des Profils IFS 58 TR 15 hat die gleichen Parameter wie der des Profils IFS 52 TR 15. Beide Nasenteile sind also identisch. Die Parameter des Schwanzteils des Profils IFS 58 TR 15 ergeben sich zu

$$\eta_0 = 0,02308 ; \eta_1 = 0,11538 ; \eta''_1 = -0,34667.$$

Der Schwanzteil wird also durch die Formel

$$\eta = 0,02308 \cdot (V) + 0,11538 \cdot (VI) - 0,34667 \cdot (VII)$$

dargestellt. Diese Formel kann, wie im vorigen Rechenbeispiel gezeigt, an Hand der in Tab. 1 tabellierten Einflußfunktionen ohne Schwierigkeiten berechnet werden. Dieselbe Formel mit den entsprechenden Parametern versehen wurde zur Darstellung der Schwanzteile der Profile IFS 58 TR 25, IFS 61 TR 15, IFS 61 TR 25, IFS 62 TR 15 und IFS 62 TR 25 benutzt.

Um auch bei der Darstellung ungewöhnlicher Profilformen mit einer geringen Zahl von vorzuschreibenden Parametern (sprich: mit Polynomen niedrigen Grades) auszukommen, ohne dabei die Kontur unnötig zu zerstükeln, ist es meist zweckmäßig, den Flächenparameter  $\epsilon_F$  mit zu verwenden. Dies ist bei der Darstellung des Bugruderprofils IFS 54 BR 15 (Abb. 2) geschehen. Dieses knochenförmige Profil hat seine größte Dicke auf  $\frac{L}{2}$  und ist in bezug auf seine beiden Achsen symmetrisch. Das Polynom wurde für den Bereich von der Profilnase bis zur Profilmitte aufgestellt, als Bezugslänge

wurde  $\frac{L}{2}$  gewählt. Mit  $\frac{B}{L} = 0,15$  und der Profilnase als

Koordinatennullpunkt ergeben sich die Parameter

$$\eta_0 = 0 ; \eta_1 = 0,15 ; \eta'_1 = 0.$$

Folgende Parameter sind außerdem vorgegeben:

$$\epsilon_0 = 0,44 ; \eta'_0 = 0 ; \eta''_1 = 0 ; \epsilon_F = 0,10.$$

Die Kontur wird also durch ein Polynom 5. Grades dargestellt, das in symbolischer Schreibweise lautet:

$$\eta = \epsilon_0 \cdot \left( \frac{5 \cdot \epsilon_0}{\eta_0 \eta'_0 \eta_1 \eta'_1 \eta''_1 \epsilon_F} \right) + \eta_1 \cdot \left( \frac{5 \cdot \eta_1}{\epsilon_0 \eta_0 \eta'_0 \eta_1 \eta'_1 \eta''_1 \epsilon_F} \right) + \epsilon_F \cdot \left( \frac{5 \cdot \epsilon_F}{\epsilon_0 \eta_0 \eta'_0 \eta_1 \eta'_1 \eta''_1} \right).$$

Die Einflußfunktionen dieser Gleichung und ihre Aufmaße sind ebenfalls in Tab. 1 aufgeführt, so daß der Berechnung der Profilaufmaße nichts im Wege steht. Es wird darauf hingewiesen, daß der angegebene Wert für den Flächenparameter einer Profilvervolligkeit von 0,66... entspricht.

Auf ähnliche Weise kann man jede nur denkbare Profilform darstellen. Für normale Ruderprofilformen reichen die Einflußfunktionen I bis XII (Tab. 1) aus. Das hier erläuterte Verfahren stößt jedoch auf Schwierigkeiten, wenn die Kontur im uns dargebotenen Intervall eine zu starke Krümmungsänderung aufweist. Dies ist z. B. der Fall beim Schwanzteil eines Profils, dessen Nasenteil durch einen Halbkreis dargestellt wird (beweglicher Teil des Oertzruders!). In den meisten Fällen kann dann die Bedingung (6) oder (9) nicht erfüllt werden. Das heißt, man würde nach dem Verfahren fast nur entartete Schwanzkonturen erhalten. Diese Schwierigkeit kann aber mit Hilfe eines Kunstgriffes behoben werden ([5]; Zusatzglied hoher Ordnung bei Erhaltung der numerischen Bequemlichkeit), so daß man auch Konturen mit einer starken Krümmungsänderung durch relativ einfache Polynome darstellen kann.

Schließlich sei noch folgendes über die Zahl der Dezimalstellen bei Aufmaßangaben dieser Art gesagt. Die Zahl der Dezimalstellen hängt von der geforderten Genauigkeit ab, mit der die Aufmaße anzugeben sind. Wird z. B. für ein Ruderprofil von 5 m Länge eine Aufmaßgenauigkeit von 0,5 mm verlangt, so bedeutet dies, daß die dimensionslosen Koordinaten  $\frac{x}{L}$  und  $\frac{y}{L}$  auf vier Dezimalen genau an-

kann. Die später in den Tabellen 6, 7 und 8 unter „gestrakt“ mitgeteilten Aufmaße sind diesen Zeichnungen entnommen. Ebenfalls diesen Zeichnungen entnommen sind die zur Ermittlung der Nasenradien, Vorderkantentangenten und Scheitelkrümmungen benutzten Aufmaße. Die Ermittlung dieser Parameter geschieht in den Tabellen 4 und 5 und in den Abbildungen 6 und 7.

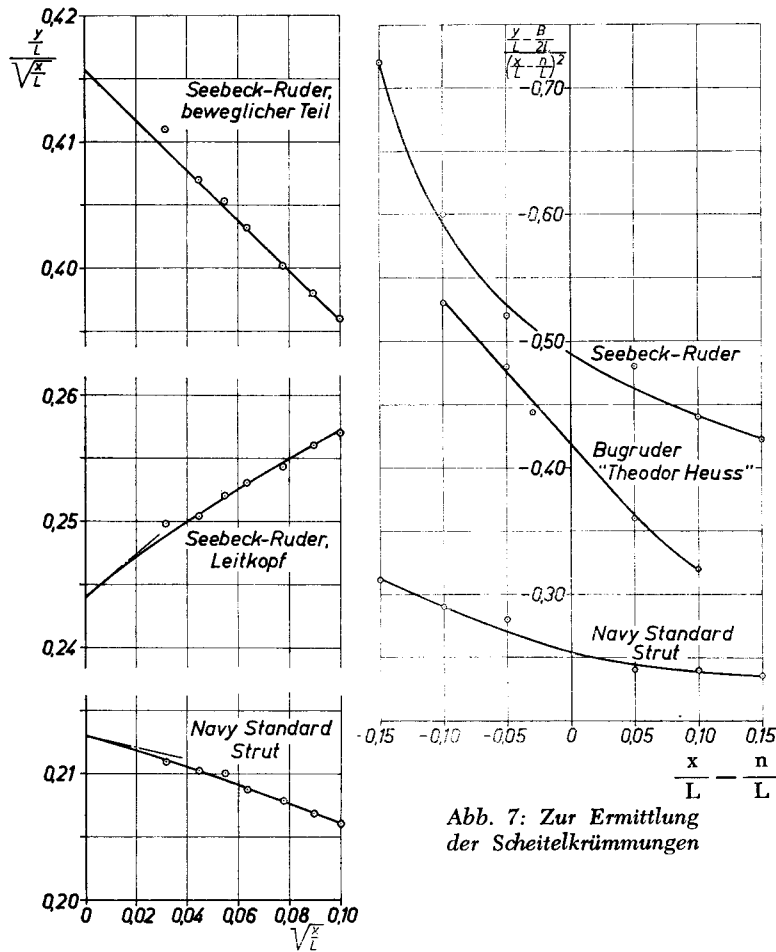


Abb. 7: Zur Ermittlung der Scheitelkrümmungen

Abb. 6: Zur Ermittlung der Nasenradien und Vorderkantentangenten

Es wird hier noch einmal betont, daß die Polynome getrennt für den Nasenteil und Schwanzteil eines Profils aufgestellt werden. Das Profil des Navy Standard Strut hat ein Dickenverhältnis  $\frac{B}{L}$  0,1666 und eine Dickenrücklage  $\frac{n}{L}$  = 0,35. Der Nasenradius  $\sqrt{\frac{2 r_n}{L}}$  wird zu 0,213, der Vorderkantentangens zu -0,0464, der Hinterkantentangens zu -0,24 und die Scheitelkrümmung  $\frac{L}{2 r_B}$  zu -0,254 ermittelt. Hieraus ergeben sich die Konturparameter für den Nasenteil:  
 $\varrho_0 = 0,3600$  ;  $\eta'_0 = -0,0464$  ;  $\eta_1 = 0,2381$  ;  $\eta''_1 = -0,1778$   
 und jene für den Schwanzteil:  
 $\eta'_0 = 0,2400$  ;  $\eta_1 = 0,1282$  ;  $\eta''_1 = -0,3302$ .

Werden zur Abkürzung der Formeln wieder römische Ziffern entsprechend der laufenden Nummer in Tab. 1 zur Bezeichnung der Einflußfunktionen verwendet, so lautet das Polynom zur Darstellung des Nasenteils entsprechend Formel (4a):  
 $\eta = 0,3600 \cdot (I) - 0,0464 \cdot (II) + 0,2381 \cdot (III) - 0,1778 \cdot (IV)$   
 und das Polynom zur Darstellung des Schwanzteils:  
 $\eta = 0,2400 \cdot (II) + 0,1282 \cdot (III) - 0,3302 \cdot (IV)$ .

Tabelle 6: Aufmaße des Navy-Standard-Strut-Profiles

$\frac{x}{n}$	$\frac{y}{n}$	$\frac{x}{L}$	$\frac{y}{L}$ (analytisch)	$\frac{y}{L}$ (gestrakt)
0	0	0	0	0
0,02	0,0499	0,007	0,0175	0,0174
0,05	0,0779	0,0175	0,0273	0,0272
0,1	0,1083	0,035	0,0379	0,0377
0,15	0,1304	0,0525	0,0456	0,0456
0,2	0,1481	0,07	0,0518	0,0520
0,3	0,1752	0,105	0,0613	0,0614
0,4	0,1952	0,14	0,0683	0,0682
0,5	0,2101	0,175	0,0735	0,0734
0,6	0,2211	0,21	0,0774	0,0773
0,8	0,2342	0,28	0,0820	0,0820
1,0	0,2381	0,35	0,0833	0,0833
$\frac{L-x}{s}$	$\frac{y}{s}$			
1,0	0,1282	0,35	0,0833	0,0833
0,9	0,1266	0,415	0,0823	0,0823
0,8	0,1220	0,48	0,0793	0,0793
0,7	0,1147	0,545	0,0746	0,0747
0,6	0,1049	0,610	0,0682	0,0683
0,5	0,0928	0,675	0,0603	0,0603
0,4	0,0785	0,74	0,0510	0,0510
0,3	0,0621	0,805	0,0404	0,0403
0,2	0,0435	0,87	0,0283	0,0282
0,1	0,0229	0,935	0,0149	0,0149
0,05	0,0117	0,9675	0,0076	0,0076
0	0	1	0	0

Die nach diesen Formeln gerechneten Aufmaße sind in Tab. 6 niedergelegt. Zum Vergleich sind dort die gestrakteten Aufmaße des Profils mit aufgeführt. Wie daraus ersichtlich, wird das Profil durch die oben erwähnten Polynome sehr gut dargestellt.

Das Seebeck-Ruder-Profil hat die Abmessungsverhältnisse wie in Abb. 8. Bei der Ermittlung der Parameter des beweglichen Ruderteils (Tab. 4 und 5) sind die Koordinaten von der Nase des beweglichen Ruderteils aus gemessen. Bei der Ermittlung der Parameter des Leitkopfes sind sie von der Nase des Leitkopfes aus gemessen. Für den beweglichen Ruderteil

wird der Nasenradius  $\sqrt{\frac{2 r_n}{L}}$  zu 0,4156, der Vorderkantentangens zu -0,199, der Hinterkantentangens zu -0,348 und die Scheitelkrümmung  $\frac{L}{2 r_B}$  zu -0,49 ermittelt. Hieraus ergeben sich die Konturparameter für den Nasenteil:  
 $\varrho_0 = 0,8151$  ;  $\eta'_0 = -0,1990$  ;  $\eta_1 = 0,4727$  ;  $\eta''_1 = -0,2548$   
 und jene für den Schwanzteil:  
 $\eta'_0 = 0,3480$  ;  $\eta_1 = 0,1891$  ;  $\eta''_1 = -0,6370$ .

Der Nasenteil wird entsprechend (4a) durch das Polynom  
 $\eta = 0,8151 \cdot (I) - 0,1990 \cdot (II) + 0,4727 \cdot (III) - 0,2548 \cdot (IV)$

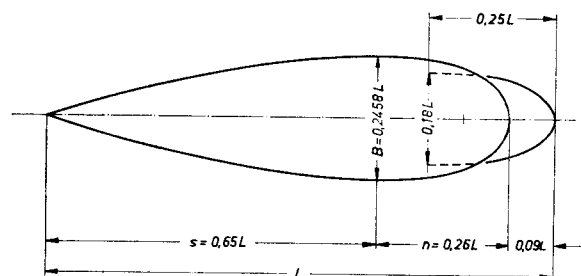


Abb. 8: Abmessungsverhältnisse am Seebeck-Ruder-Profil

und der Schwanzteil durch das Polynom  
 $\eta = 0,3480 \cdot (II) + 0,1891 \cdot (III) - 0,6370 \cdot (IV)$   
dargestellt.

Für den Leitkopf wird der Nasenradius  $\sqrt{\frac{2r_n}{L}}$  zu 0,244

und der Vorderkantentangens zu 0,172 ermittelt. Die Kontur des Leitkopfes wird durch Straken verlängert, bis sie im Abstand von 0,25 L von der Nase in eine Gerade parallel zur Symmetrieachse übergeht (Abb. 8). Die Dicke des Leitkopfes beträgt an dieser Stelle 0,18 L. Mit 0,25 L als Bezugslänge ergeben sich die Konturparameter

$$\varrho_0 = 0,4880; \eta'_0 = 0,1720; \eta_1 = 0,3600; \eta''_1 = 0.$$

Der „verlängerte“ Leitkopf wird also durch das Polynom  
 $\eta = 0,4880 \cdot (I) + 0,1720 \cdot (II) + 0,3600 \cdot (III)$   
dargestellt. In Tab. 7 sind die nach den Polynomen gerechneten Aufmaße den gestrakten Aufmaßen gegenübergestellt. Man sieht wieder die gute Näherung der Profilkontur durch die Polynome.

**Tabelle 7: Aufmaße des Seebeck-Ruder-Profils**

Leitkopf		$\frac{x}{L}$	$\frac{y}{L}$ (analytisch)	$\frac{y}{L}$ (gestrakt)
x	y			
0,25 L	0,25 L			
0	0	0	0	0
0,02	0,0723	0,005	0,0181	0,0184
0,05	0,1165	0,0125	0,0291	0,0294
0,1	0,1668	0,025	0,0417	0,0417
0,15	0,2044	0,0375	0,0511	0,0511
0,2	0,2346	0,05	0,0587	0,0589
0,3	0,2800	0,075	0,0700	0,0700
0,4	0,3114	0,10	0,0779	0,0780
0,5	0,3326	0,125	0,0832	0,0832
0,6	0,3463	0,15	0,0866	0,0864
beweglicher Ruderteil				
x - 0,09 L	y			
n	n			
0	0	0,09	0	0
0,02	0,1112	0,0952	0,0289	0,0292
0,05	0,1717	0,1030	0,0446	0,0447
0,1	0,2354	0,1160	0,0612	0,0612
0,15	0,2805	0,1290	0,0729	0,0729
0,2	0,3155	0,1420	0,0820	0,0819
0,3	0,3672	0,1680	0,0955	0,0954
0,4	0,4032	0,1940	0,1048	0,1050
0,5	0,4288	0,22	0,1115	0,1117
0,6	0,4469	0,246	0,1162	0,1163
0,8	0,4671	0,298	0,1214	0,1215
1,0	0,4727	0,35	0,1229	0,1229
L - x	y			
s	s			
1,0	0,1891	0,35	0,1229	0,1229
0,9	0,1861	0,415	0,1210	0,1208
0,8	0,1780	0,48	0,1157	0,1157
0,7	0,1658	0,545	0,1078	0,1078
0,6	0,1502	0,61	0,0976	0,0977
0,5	0,1319	0,675	0,0857	0,0857
0,4	0,1110	0,74	0,0722	0,0722
0,3	0,0876	0,805	0,0569	0,0570
0,2	0,0617	0,87	0,0401	0,0401
0,1	0,0327	0,935	0,0213	0,0211
0,05	0,0169	0,9675	0,0110	0,0109
0	0	1	0	0

Es wird hier darauf hingewiesen, daß die Nasenparameter des Navy-Standard-Strut-Profils und des Seebeck-Ruder-Profils den Bedingungen (5) genügen, daß aber die Schwanzparameter beider Profile die Bedingung (6) nicht erfüllen. Das heißt also, daß die Nasenkonturen in unserem Sinne „in Ordnung“ sind, während die Schwanzkonturen Beulen oder Abflachungen aufweisen müssen. Diese Beulen oder Abflachungen sind aber hier so minimal, daß sie optisch kaum wahrzunehmen sind.

Das Profil des Bugruders des Fährschiffes „Theodor Heuss“ (obere Ruderrippe) hat ein Dickenverhältnis  $\frac{B}{L} = 0,1627$ ,

eine Dickenrücklage  $\frac{n}{L} = 0,4060$  und einen Nasenradius

= Schwanzradius  $\sqrt{\frac{2r}{L}} = 0,2168$ . Die Scheitelkrümmung

$\frac{L}{2r_B}$  wird zu -0,42 ermittelt. Das Profil besteht an den Enden

aus Kreisbögen mit hieran tangierenden, fast geraden Flanken. Es ist also sehr wahrscheinlich, daß die Kontur dort Krümmungssprünge aufweist. Um die Kontur genau darzustellen, wäre ein Polynom hohen Grades notwendig. Da wir aber nach unserem Verfahren nur Polynome niedrigen Grades verwenden wollen, sind Abweichungen an den Profilenden nicht zu vermeiden. Die Tangenten an den Profilenden werden hier nicht analytisch ermittelt, sondern frei gewählt, und zwar so, daß die Kontur möglichst genau durch das Polynom dargestellt wird. Die zur Berechnung benutzten Tangenten entsprechen also nicht den tatsächlichen „unsichtbaren“ Tangenten am Profil. Der Vorderkantentangens wird gleich -0,46 gewählt. Die Konturparameter für den Nasenteil sind also:

$$\varrho_0 = 0,3403; \eta'_0 = -0,4600; \eta_1 = 0,2005; \eta''_1 = -0,3410.$$

Das Polynom zur Darstellung des Nasenteils lautet:

$$\eta = 0,3403 \cdot (I) - 0,4600 \cdot (II) + 0,2005 \cdot (III) - 0,3410 \cdot (IV).$$

Zur Darstellung des Schwanzteils reicht ein Polynom entsprechend Formel (4a) nicht aus. Es erweist sich hier als zweckmäßig, den Flächenparameter  $\varepsilon_F$  mit zu verwenden. Dieser Parameter wird durch Planimetrieren zu 0,0978 ermittelt. Der Hinterkantentangens wird gleich 0,5 gewählt. Mit den Konturparametern

$$\varrho_0 = 0,2813; \eta'_0 = -0,5000; \eta_1 = 0,1370; \eta''_1 = -0,4990; \varepsilon_F = 0,0978 \text{ (und } \eta_0 = \eta'_1 = 0)$$

lautet das Polynom zur Darstellung des Schwanzteils:

$$\eta = 0,2813 \cdot \left( \frac{5 \cdot \varrho_0}{\eta_0 \eta'_0 \eta_1 \eta'_1 \eta''_1 \varepsilon_F} \right) - 0,5000 \cdot \left( \frac{5 \cdot \eta'_0}{\varrho_0 \eta_0 \eta_1 \eta'_1 \eta''_1 \varepsilon_F} \right) + 0,1370 \cdot \left( \frac{5 \cdot \eta_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta'_0 \eta'_1 \eta''_1 \varepsilon_F} \right) - 0,4990 \cdot \left( \frac{5 \cdot \eta''_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta'_0 \eta_1 \eta'_1 \varepsilon_F} \right) + 0,0978 \cdot \left( \frac{5 \cdot \varepsilon_F}{\varrho_0 \eta_0 \eta'_0 \eta_1 \eta'_1 \eta''_1} \right)$$

(Die Aufmaße der Einflußfunktionen sind in Tab. 1 zu finden)

Die auf diese Weise gerechneten Aufmaße sind neben den gestrakten Aufmaßen des Profils in Tab. 8 niedergelegt. Man erkennt die geringe Abweichung der gerechneten von den gestrakten Aufmaßen an den Profilenden.

Auf ähnliche Weise sind auch Joukowsky-Profile analysiert worden [10]. Natürlich ist man zur mathematischen Darstellung von Konturen nicht nur auf die in (3) definierten Parameter angewiesen: eine Ergänzung des Verfahrens durch weitere Parameter, wie z. B. die höheren Ableitungen an den Konturenden oder Zwischenordinaten, ist möglich [11]. Die in (3) definierten Parameter reichen jedoch zur Darstellung der meisten Ruderprofilkonturen aus. Werden die Konturen nur ungenügend wiedergegeben, so liegt es meist an einer ungenauen Bestimmung der Parameter.

#### D. Zusammenfassung

Nach einem kurzen Rückblick auf die Grundlagen werden Beispiele zur Darstellung von Ruderprofilkonturen aufgeführt. Die meisten Ruderprofilkonturen können durch relativ ein-

zugeben sind. Die Aufmaße der Einflußfunktionen sind generell auf sechs Dezimalen gerechnet worden, da sie zur Darstellung von Konturen noch einigen Rechenoperationen unterworfen werden. Außerdem sind die Einflußfunktionen auch zur Darstellung von Schiffslinien zu benutzen, die eine höhere Genauigkeit der dimensionslosen Werte erfordern.

### C. Analyse gestraakter Ruderprofile

Als zwingende Folge des in Abschnitt A Erläuterten ergibt sich auch die Möglichkeit, gestraakt gegebene Profilkonturen zu analysieren und durch entsprechende Polynome auszudrücken. Dies soll jetzt an Hand von Beispielen demonstriert werden. Aus der graphisch gegebenen Kontur können Länge, Dicke, Dickenrücklage und Hinterkantentangens des Profils sofort abgegriffen werden. Nasenradius, Vorderkantentangens und Scheitelkrümmung des Profils werden nach einer kurzen Rechnung ebenfalls graphisch ermittelt. Die Profilkontur kann in Nasennähe durch folgende Gleichung dargestellt werden:

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{r_n = x=0} = \frac{x}{L} \frac{y}{L} = \sqrt{\frac{2r_n}{L}} \cdot \sqrt{\frac{x}{L}} + \left(\frac{dy}{dx}\right)_{r_n = x=0} \cdot \frac{x}{L} + \dots$$

wobei x und y die von der Nase aus gemessenen Profilkonturen sind und L die Profillänge ist.

Trägt man  $\frac{y}{L}$  über  $\sqrt{\frac{x}{L}}$  auf, so ergibt der Schnittpunkt der Kurve mit der Ordinatenachse den Nasenradius  $\sqrt{\frac{2r_n}{L}}$ . Die Neigung der Kurve an dieser Stelle ist gleich dem Vorderkantentangens  $\left(\frac{dy}{dx}\right)_{r_n = x=0}$ . Unter Anwendung desselben Koordinatensystems kann die Profilkontur in Scheitelnähe durch folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$\frac{y}{L} = \frac{B}{2L} + \frac{L}{2r_B} \left(\frac{x}{L} - \frac{n}{L}\right)^2 + \dots$$

Trägt man  $\frac{y}{L} - \frac{B}{2L}$  über  $\left(\frac{x}{L} - \frac{n}{L}\right)$  auf, so ergibt der Schnittpunkt der Kurve mit der Ordinatenachse die Scheitelkrümmung  $\frac{L}{2r_B}$ . Damit sind alle Parameter ermittelt worden, die notwendig sind um den Nasen- und Schwanzteil des Profils je durch ein Polynom nach Formel (4a) darzustellen.

Zur Demonstration des Verfahrens werden jetzt drei willkürlich gewählte (gestraakte) Profile analysiert und anschließend durch Polynome ausgedrückt. Die drei willkürlich gewählten Profile sind das Profil des Navy Standard Strut, das Profil des

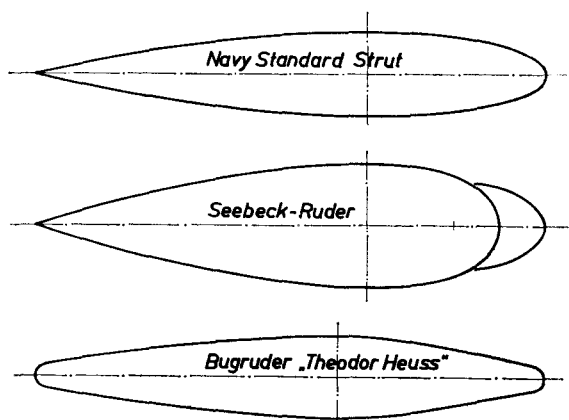


Abb. 5: Beispiele gestraakter Ruderprofile

Seebeck-Ruders und das Profil des Bugruders des Fährschiffes „Theodor Heuss“ (Abb. 5). Aufmaße bzw. Skizzen dieser Profile findet man in [6], [7], [8] und [9]. An Hand der dort gemachten Angaben werden zunächst ausreichend große Profilverzeichnungen angefertigt, so daß man daraus die Koordinaten jedes Profilverpunktes mit genügender Genauigkeit ablesen

Tabelle 4: Zur Ermittlung der Nasenradien und Vorderkantentangenten

$\frac{x}{L}$	$\frac{y}{L}$	$\sqrt{\frac{x}{L}}$	$\frac{y}{L} \cdot \sqrt{\frac{x}{L}}$
---------------	---------------	----------------------	--

Navy Standard Strut:

0,001	0,00667	0,03162	0,2109
0,002	0,0094	0,04472	0,2102
0,003	0,0115	0,05477	0,2100
0,004	0,0132	0,06325	0,2087
0,006	0,0161	0,07746	0,2078
0,008	0,0185	0,08944	0,2068
0,010	0,0206	0,1	0,2060

Seebeck-Ruder, beweglicher Teil:

0,001	0,0130	0,03162	0,4111
0,002	0,0182	0,04472	0,4070
0,003	0,0222	0,05477	0,4053
0,004	0,0255	0,06325	0,4032
0,006	0,0310	0,07746	0,4002
0,008	0,0356	0,08944	0,3980
0,010	0,0396	0,1	0,3960

Seebeck-Ruder, Leitkopf:

0,001	0,0079	0,03162	0,2498
0,002	0,0112	0,04472	0,2504
0,003	0,0138	0,05477	0,2520
0,004	0,0160	0,06325	0,2530
0,006	0,0197	0,07746	0,2543
0,008	0,0229	0,08944	0,2560
0,010	0,0257	0,1	0,2570

Tabelle 5: Zur Ermittlung der Scheitelkrümmungen

$\frac{x}{L}$	$\frac{y}{L}$	$\frac{x}{L} - \frac{n}{L}$	$\left(\frac{x}{L} - \frac{n}{L}\right)^2$	$\frac{y}{L} - \frac{B}{2L}$	$\frac{y}{L} - \frac{B}{2L} \cdot \left(\frac{x}{L} - \frac{n}{L}\right)^2$
---------------	---------------	-----------------------------	--	------------------------------	---

Navy Standard Strut:

0,2	0,0763	-0,15	0,0225	-0,0070	-0,3111
0,25	0,0804	-0,10	0,01	-0,0029	-0,29
0,3	0,0826	-0,05	0,0025	-0,0007	-0,28
0,4	0,0827	0,05	0,0025	-0,0006	-0,24
0,45	0,0809	0,10	0,01	-0,0024	-0,24
0,5	0,0780	0,15	0,0225	-0,0053	-0,2356

Seebeck-Ruder:

0,11	0,1067	-0,15	0,0225	-0,0162	-0,72
0,16	0,1169	-0,10	0,01	-0,0060	-0,60
0,21	0,1216	-0,05	0,0025	-0,0013	-0,52
0,31	0,1217	0,05	0,0025	-0,0012	-0,48
0,36	0,1185	0,10	0,01	-0,0044	-0,44
0,41	0,1134	0,15	0,0225	-0,0095	-0,4222

Bugruder „Theodor Heuss“:

0,306	0,0761	-0,10	0,01	-0,0053	-0,53
0,356	0,0802	-0,05	0,0025	-0,0012	-0,48
0,376	0,0810	-0,03	0,0009	-0,0004	-0,4444
0,456	0,0805	0,05	0,0025	-0,0009	-0,36
0,506	0,0782	0,10	0,01	-0,0032	-0,32

**Tabelle 8: Aufmaße des Profils des Bugruders „Theodor Heuss“**

$\frac{x}{n}$	$\frac{y}{n}$	$\frac{x}{L}$	$\frac{y}{L}$ (analytisch)	$\frac{y}{L}$ (gestrakt)
0	0	0	0	0
0,02	0,0393	0,0081	0,0160	0,0177
0,05	0,0553	0,0203	0,0225	0,0232
0,1	0,0700	0,0406	0,0284	0,0279
0,15	0,0808	0,0609	0,0328	0,0321
0,2	0,0907	0,0812	0,0368	0,0365
0,3	0,1104	0,1218	0,0448	0,0449
0,4	0,1307	0,1624	0,0531	0,0528
0,5	0,1503	0,2030	0,0610	0,0606
0,6	0,1679	0,2436	0,0682	0,0678
0,7	0,1823	0,2842	0,0740	0,0738
0,8	0,1926	0,3248	0,0782	0,0780
0,9	0,1986	0,3654	0,0806	0,0806
1,0	0,2005	0,4060	0,0814	0,0814
$\frac{L-x}{s}$	$\frac{y}{s}$			
1,0	0,1370	0,4060	0,0814	0,0814
0,9	0,1350	0,4654	0,0802	0,0802
0,8	0,1302	0,5248	0,0773	0,0774
0,7	0,1236	0,5842	0,0734	0,0735
0,6	0,1153	0,6436	0,0685	0,0686
0,5	0,1050	0,7030	0,0624	0,0624
0,4	0,0927	0,7624	0,0551	0,0552
0,3	0,0788	0,8218	0,0468	0,0473
0,2	0,0644	0,8812	0,0383	0,0388
0,15	0,0574	0,9109	0,0341	0,0342
0,1	0,0502	0,9406	0,0298	0,0297
0,05	0,0409	0,9703	0,0243	0,0247
0,02	0,0303	0,9881	0,0180	0,0200
0	0	1	0	0

fache Polynome ausgedrückt werden. Dazu genügt die Festlegung einiger Parameter. Dies wird an Hand von Beispielen zum Entwurf neuer Profilkonturen und zur Analyse gestrakt vorgegebener Profillinien gezeigt.

Die Polynome setzen sich aus Einflußfunktionen zusammen. Durch die Tabellierung der Einflußfunktionen wird der Rechenaufwand zur Bestimmung der Profilaufmaße auf ein Minimum reduziert.

**E. Symbole**

Es folgt jetzt eine Zusammenstellung der in dieser Arbeit verwendeten Symbole. Zum besseren Verständnis der Erläuterungen sei auf Abb. 1 und die bei (3) erfolgten Definitionen verwiesen.

- A Bezugslänge. Für den Nasenteil eines Profils gleich n, für den Schwanzteil gleich s
- B Maximale Profildicke
- B<sub>s</sub> Dicke am Profilende
- L Profillänge
- a<sub>0</sub>, a<sub>0,5</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> usw. Koeffizienten in einem Polynom nach Formel (2)
- g Länge des Geradeteils an einem Profil
- n Nasenlänge eines Profils

- r Radius
- r<sub>B</sub> Radius der Profilkontur an der maximalen Dicke
- r<sub>n</sub> Nasenradius
- s Schwanzlänge eines Profils
- x Profilsabszisse
- y Profilorinate
- $\epsilon_F = \int_0^1 \eta d\xi$  Flächeninhalt
- $\eta = \frac{y}{A}$  Dimensionslose Ordinate
- $\eta_0$  Ordinate am Anfang der Kontur
- $\eta'_0$  Die erste Ableitung der Funktion  $\eta(\xi)$  am Anfang der Kontur für  $\xi_0 = 0$
- $\eta''_0$  Die zweite Ableitung der Funktion  $\eta(\xi)$  am Anfang der Kontur für  $\xi_0 = 0$
- $\eta_1$  Ordinate am Ende der Kontur
- $\eta'_1$  Die erste Ableitung der Funktion  $\eta(\xi)$  am Ende der Kontur
- $\eta''_1$  Die zweite Ableitung der Funktion  $\eta(\xi)$  am Ende der Kontur
- $\xi = \frac{x}{A}$  Dimensionslose Abszisse
- $\epsilon_0 = a_{0,5} = \sqrt{\frac{2r_n}{A}}$  Abrundung am Anfang der Kontur

**F. Schrifttum**

- [ 1 ] Thieme, H.: Zur Formgebung von Schiffsrudern. Jahrbuch der STG, 1962, S. 381—422.
- [ 2 ] Kwik, K. H.: Grundlagen zur Darstellung der Profilform von Schiffsrudern. Schiff und Hafen, 1962, S. 853—859.
- [ 3 ] Kwik, K. H.: Tabellen zur Darstellung der Konturen von Schiffslinien und Ruderprofilen. Bericht Nr. 114 des Instituts für Schiffbau der Universität Hamburg (Sommer 1962).
- [ 4 ] Thieme, H.: Ruder. Handbuch der Werften 1952, S. 89—94.
- [ 5 ] Kwik, K. H.: Zum Konturentwurf von Leitkopfruderprofilen. Bericht des Instituts für Schiffbau der Universität Hamburg. (In Vorbereitung)
- [ 6 ] Mandel, P.: Some Hydrodynamic Aspects of Appendage Design. TSNAME Vol. 61, 1953, S. 464—515.
- [ 7 ] Whicker, L. F. und Fehlner, L. F.: Free-Stream Characteristics of a Family of Low-Aspect-Ratio, All-Movable Control Surfaces for Application to Ship Design. DTMB-Rep. 933, Mai 1958.
- [ 8 ] Flügel, G.: Neue Ergebnisse der Ruderforschung. Hansa 1950, S. 1432—1440.
- [ 9 ] Oelert, W.: „Theodor Heuss“. Das neue Eisenbahn- und Auto-Fährschiff der Deutschen Bundesbahn. Schiff und Hafen, 1957, S. 891—923. Hansa, 1957, S. 2295—2313.
- [ 10 ] Kwik, K. H.: Darstellung symmetrischer Joukowsky-Profile. Bericht Nr. 116 des Instituts für Schiffbau der Universität Hamburg (Frühjahr 1963).
- [ 11 ] Thieme, H.: Über Grundlagen für den mathematischen Linienriß eines Frachtschiffes. Schiffstechnik 1956, S. 288—299.

