

102 | Oktober 1962

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

K.H. Kwik

Grundlagen zur Darstellung der Profilform von Schiffsrudern

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Grundlagen zur Darstellung der Profilform von Schiffsrudern

von K. H. KWIK

Institut für Schiffbau der Universität Hamburg



Sonderdruck aus der Fachzeitschrift „Schiff und Hafen“

Jahrgang 14 · Heft 10 · Oktober 1962

Druck und Verlag: C. D. C. Heydorns Buchdruckerei, Uetersen bei Hamburg

Grundlagen zur Darstellung der Profilform von Schiffsrudern

Von K. H. Kwik

Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

In diesem Bericht wird gezeigt, wie man Konturen durch die Summe von je mit einem Faktor multiplizierten Einflußfunktionen berechnen kann. Jede Einflußfunktion stellt eine Potenzreihe dar, die einfachen Randbedingungen genügt und die bei Vorgabe dieser Bedingungen von vornherein berechnet werden kann. Die Aufmaße dieser Einflußfunktionen werden tabellarisch festgelegt, so daß die Rechenarbeit auf ein Minimum reduziert wird. Am Institut für Schiffbau der Universität Hamburg werden zur Zeit über 200 der meistbenutzten Einflußfunktionen in Tabellenform gebracht [6]. Profilkonturen sind als spezialisierte Schiffskonturen aufzufassen. In diesem Bericht werden Konturgleichungen für normale und für besondere Ruderprofile angegeben. Eine Methode zur Analyse gestrakt vorgegebener Konturen wird erläutert. Anwendungsbeispiele für den Entwurf von Ruderprofilen und für die Analyse gestrakt vorgegebener Profilkonturen werden demnächst veröffentlicht werden [5].

I. Einführung

Ziel dieser Arbeit ist, in einfacher Form mathematisch bestimmte Konturen für den Entwurf von Schiffsruderprofilen anzugeben. Dabei wird auf theoretische Verfahren zur Druckverteilungsrechnung keine Rücksicht genommen. Von den vielen Möglichkeiten, strakende Konturen mathematisch darzustellen, wird das Polynom, abgesehen von der zur Erzielung der Abrundung verwendeten Potenz 0,5, mit nur ganzzahligen Exponenten ausgewählt [vergl. Formel (1)]. Die Anwendung solcher Polynome zur Darstellung von Schiffslinien hat sich bereits als zweckmäßig erwiesen. D. W. Taylor hat vor etwa 50 Jahren erstmalig Polynome fünften Grades benutzt. Später hat Weinblum [1] die Taylorschen Ergebnisse verallgemeinert und gezeigt, daß zur Darstellung von Schiffslinien Polynome höheren Grades erforderlich sind. Schließlich hat Thieme [2] ein vollständiges System von Konturparametern angegeben, mit denen sich die Konturgleichungen aufstellen lassen, und auf einen Weg zur Analyse gestrakt vorgegebener Konturen hingewiesen.

Die meisten Ruderprofile werden heute nach fertigen Aufmaßtabellen durch affine Verzerrung aufgerissen. Die Aufmaße entstammen hydrodynamisch mehr oder weniger guten Ruderkonturen, die entweder ausgestrakt oder mathematisch bestimmt worden sind. Die mathematische Darstellung hat den Vorzug, daß die Konturen durch ihre Parameter exakt angegeben werden können und damit exakt reproduzierbar sind. Außerdem lassen sich Variationen der Konturen durch systematische Änderungen der Parameter erzielen.

Das Ausrechnen der Polynome nimmt, besonders bei einer großen Zahl von Konturparametern, viel Zeit in Anspruch. Deshalb wird zweckmäßig folgender Weg gegangen. Jedes zur Darstellung einer Kontur benutzte Polynom läßt sich darstellen als die Summe von speziellen Einflußfunktionen, die jede für sich bestimmten, einfachen Bedingungen ge-

nügen. Diese Einflußfunktionen können nun bei Vorgabe der Bedingungen von vornherein berechnet und tabelliert werden. Unter Benutzung dieser Tabellen besteht die ganze Rechenarbeit nur noch aus einer einfachen Multiplikation und Addition. Die Tabellierung dieser Funktionen ist besonders zur Kontrolle der mathematischen Approximationen von gestrakt vorgegebenen Konturen von Vorteil. Am Institut für Schiffbau der Universität Hamburg werden zur Zeit zahlreiche solcher Funktionen tabelliert [6]. Dabei werden auch Funktionen berücksichtigt, die zur Darstellung von Schiffslinien in Betracht kommen. Die Tabellen können auf Anfordern Interessenten zur Verfügung gestellt werden.

Die Systematisierung von Ruderprofilen steht naturgemäß in ebenso engem wie förderlichem Zusammenhang mit den theoretischen und experimentellen Behandlungen von Problemen der Eigenschaften und des Entwurfes von Schiffsrudern [3]. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat die am Institut für Schiffbau durchgeführte Ruderforschung in entsprechender Weise gefördert.

II. Grundlagen

Jede auf ein Abszissenintervall A begrenzte Kontur läßt sich mathematisch durch folgendes Polynom darstellen:

$$\eta = \alpha_0 + \alpha_{0,5} \xi^{1/2} + \alpha_1 \cdot \xi + \alpha_2 \cdot \xi^2 + \alpha_3 \cdot \xi^3 + \dots \quad (1)$$

η ist eine dimensionslose Ordinate und ξ die zugehörige dimensionslose Abszisse. Es ist (Abb. 1):

$$\eta = \frac{y}{A} ; \quad \xi = \frac{x}{A} \quad 0 \leq \xi \leq 1 \quad (2)$$

Wir bezeichnen:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{die Anfangsordinate} & \eta_0 = \eta(\xi=0) = \alpha_0 = \frac{y_0}{A} \\ \text{die Anfangsabrundung} & \varrho_0 = \alpha_{0,5} = \sqrt{2 r_0 / A} \\ \text{die Anfangsneigung} & \eta_0' = \eta'(\xi=0) = \alpha_1 \\ \text{die Anfangskrümmung} & \eta_0'' = \eta''(\xi=0) = 2 \alpha_2 \\ \text{die Endordinate} & \eta_1 = \eta(\xi=1) = \alpha_0 + \alpha_{0,5} + \sum \alpha_n = \frac{y_A}{A} \\ \text{die Endneigung} & \eta_1' = \eta'(\xi=1) = \frac{1}{2} \alpha_{0,5} + \sum n \cdot \alpha_n \\ \text{die Endkrümmung} & \eta_1'' = \eta''(\xi=1) = -\frac{1}{4} \alpha_{0,5} + \sum (n^2 - n) \cdot \alpha_n = \frac{\Lambda}{r_A} \\ \text{den Flächeninhalt} & \varepsilon_F = \int_0^1 \eta d\xi = \alpha_0 + \frac{2}{3} \alpha_{0,5} + \sum \frac{\alpha_n}{n+1} \end{array} \right\} \quad (3)$$

(n = ganze, positive Zahl)

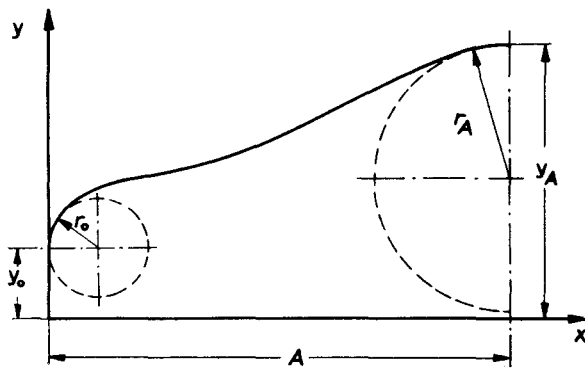


Abb. 1: Definitionsskizze zur Bezeichnungweise

Mit diesen acht Konturparametern, die mit Ausnahme des Flächenparameters ϵ_F nur die Anfangs- und Endbedingungen der Kontur angeben, können Ruderprofile ausreichend genau mathematisch dargestellt werden. Beim Entwurf werden diese Parameter vorgegeben bzw. man variiert ihre Werte so lange, bis die nach (1) oder besser nach (4) berechnete Kontur eine „gute“, nicht „entartete“ ist. Die wichtigsten Bedingungen für die Wahl der Parameter, damit garantiert „gute“ Profilkonturen entstehen, werden später angegeben. Aufgabe der Analyse gestraht vorgegebener Konturen ist, obige Parameter zu ermitteln.

Meist schreibt man beim Entwurf nur einige dieser acht Parameter vor. Die übrigen nicht vorgeschriebenen Parameter ergeben sich dann zwangsläufig. Die Zahl der vorgeschriebenen Parameter bestimmt den Grad des Polynoms. Sind z. B. alle acht Parameter vorgeschrieben, so hat man, wie leicht zu erkennen, ein Polynom sechster Ordnung.

Mit (3) läßt sich (1) auch in folgender Form schreiben:

$$\eta = \eta_0 + \epsilon_0 \cdot \xi^{1/2} + (a_{1I} \cdot \eta_0 + a_{1II} \cdot \epsilon_0 + a_{1III} \cdot \eta_0' + a_{1IV} \cdot \eta_0'' + \dots) \cdot \xi \\ + (a_{2I} \cdot \eta_0 + a_{2II} \cdot \epsilon_0 + a_{2III} \cdot \eta_0' + a_{2IV} \cdot \eta_0'' + \dots) \cdot \xi^2 \\ + (a_{3I} \cdot \eta_0 + a_{3II} \cdot \epsilon_0 + a_{3III} \cdot \eta_0' + a_{3IV} \cdot \eta_0'' + \dots) \cdot \xi^3 \\ + \dots$$

oder:

$$\eta = \eta_0 \cdot (\text{Potenzreihe I}) + \epsilon_0 \cdot (\text{Potenzreihe II}) \\ + \eta_0' \cdot (\text{Potenzreihe III}) + \eta_0'' \cdot (\text{Potenzreihe IV}) + \dots \quad (4)$$

Somit kann man das Polynom (1) betrachten als die Summe von mit je einem Konturparameter multiplizierten speziellen Potenzreihen gleichen Grades. Diese speziellen Potenzreihen werden „Einflußfunktionen“ genannt, weil sie den Einfluß der einzelnen Parameter auf die Gesamtfunktion wiedergeben. Jede Einflußfunktion genügt der Bedingung, daß der Parameter, mit dem die Funktion zu multiplizieren ist, gleich 1 ist und daß die anderen vorgeschriebenen Parameter den Wert 0 haben. So ist z. B. die Potenzreihe I in (4) derart, daß $\eta_0 = 1$ und $\epsilon_0, \eta_0', \eta_0''$ usw. = 0 ist.

$$\frac{4 \cdot \eta_1}{\epsilon_0 \eta_0 \eta_0' \eta_1' \eta_1''}$$

ist eine symbolische Bezeichnung für eine Einflußfunktion vierter Ordnung, die folgenden Bedingungen genügt:

$$\eta_1 = 1 \\ \epsilon_0 = \eta_0 = \eta_0' = \eta_1' = \eta_1'' = 0$$

Der Grad der Funktion ist gleich der Anzahl der vorgeschriebenen Parameter ohne Anrechnung von ϵ_0 und η_0 .

Jede Einflußfunktion hat also bestimmten einfachen Bedingungen zu genügen und ist bei Vorgabe dieser Bedingungen zu ermitteln. Die Bedeutung der Schreibweise (4) tritt jetzt klar hervor: um die Kontur der Ruderprofile zu erhalten, multipliziert man die tabellierten Ordinaten der Einflußfunktionen mit dem zugehörigen vorgegebenen Parameter und addiert die Produkte miteinander. Tritt eine

„Entartung“ der Kontur auf, so ist leicht zu übersehen, welcher Parameter geändert werden muß. Bei der Analyse vorgegebener Konturen ist es nützlich, nach Bestimmung einiger wesentlicher Parameter eine kurze Zwischenrechnung für einige Konturpunkte nach (4) zu machen, um festzustellen, ob vielleicht nicht schon mit den erhaltenen Parametern eine ausreichende Annäherung der Kontur erreicht wird.

Da das bisher Gesagte grundsätzlich auch für mathematische Schiffslinien gilt (und um unnötige Verwirrungen zu vermeiden), werden in dieser Arbeit die Bezeichnungen übernommen, wie sie für mathematische Schiffslinien angewendet sind [2]. In sehr vielen Fällen genügen die Parameter (3) auch zur Darstellung von Schiffslinien. Dann und wann sind jedoch zusätzliche Parameter notwendig, wie z. B. $\eta_0''', \eta_{0,5},$

$$\eta_{0,5}', \eta_{0,5}'', \eta_1''', \eta_1''', \int_0^1 \eta \xi d\xi, \int_0^1 \eta \xi^2 d\xi ;$$

auch diese Parameter werden bei der Tabellierung der Einflußfunktionen berücksichtigt [6].

Es sei hier schließlich noch betont, daß nach den in (3) gegebenen Definitionen η_0' und η_0'' die Anfangsneigung und Anfangskrümmung bei verschwindender Anfangsabrundung ($\epsilon_0 = 0$) ist und daß eine Neigung als positiv gilt, wenn die Neigungsgerade vom 1. zum 3. Quadranten verläuft und eine Krümmung als negativ, wenn die Kontur konkav nach unten verläuft.

III. Konturgleichungen normaler Ruderprofile

Die Aufstellung von Konturgleichungen für allgemeine Ruderprofile erfolgt zweckmäßig getrennt für Nasen- und Schwanzteil (Abb. 2).

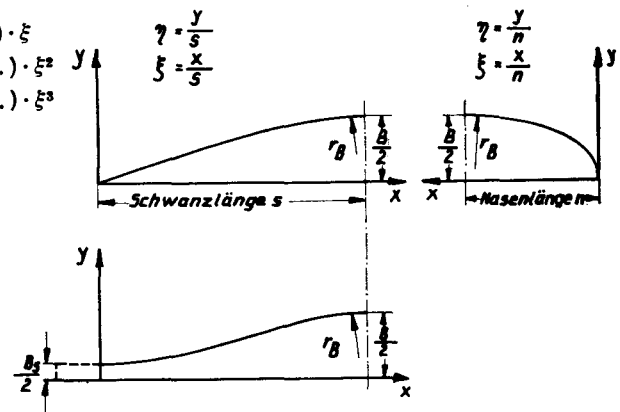


Abb. 2: Prinzip für die Zusammenfügung eines Ruderprofils aus Nasenkontur und Schwanzkontur

Nasenteil

Beim Entwurf des Nasenteils werden in den meisten Fällen folgende Konturparameter vorgeschrieben:

$$\epsilon_0 \\ \eta_0 \\ \eta_0' \\ \eta_1 \\ \eta_1' \\ \eta_1''$$

Nach dem Vorhergesagten erhält man als Konturgleichung ein Polynom vierter Ordnung:

$$\eta = \alpha_0 + \alpha_{0,5} \cdot \xi^{1/2} + \alpha_1 \cdot \xi + \alpha_2 \cdot \xi^2 + \alpha_3 \cdot \xi^3 + \alpha_4 \cdot \xi^4$$

Unter Beachtung von (3) und mit $\eta_0 = \eta_1' = 0$ ergeben sich:

$$\alpha_{0,5} = \epsilon_0 \\ \alpha_1 = \eta_0' \\ \alpha_2 = \frac{\eta_1''}{2} + 6 \eta_1 - \frac{35}{8} \epsilon_0 - 3 \eta_0' \\ \alpha_3 = -\eta_1'' - 8 \eta_1 + \frac{21}{4} \epsilon_0 + 3 \eta_0'$$

$$\alpha_4 = \frac{\eta_1''}{2} + 3\eta_1 - \frac{15}{8} \quad \varrho_0 - \eta_0'$$

Somit lautet die Konturgleichung:

$$\begin{aligned} \eta = \varrho_0 \xi^{1/2} + \eta_0' \xi + \left(\frac{\eta_1''}{2} + 6\eta_1 - \frac{35}{8} \varrho_0 - 3\eta_0' \right) \xi^2 \\ + \left(-\eta_1'' - 8\eta_1 + \frac{21}{4} \varrho_0 + 3\eta_0' \right) \xi^3 \\ + \left(\frac{\eta_1''}{2} + 3\eta_1 - \frac{15}{8} \varrho_0 - \eta_0' \right) \xi^4 \end{aligned} \quad (5)$$

oder:

$$\begin{aligned} \eta = \varrho_0 \left(\xi^{1/2} - \frac{35}{8} \xi^2 + \frac{21}{4} \xi^3 - \frac{15}{8} \xi^4 \right) \\ + \eta_0' \left(\xi - 3\xi^2 + 3\xi^3 - \xi^4 \right) \\ + \eta_1 \left(6\xi^2 - 8\xi^3 + 3\xi^4 \right) \\ + \eta_1'' \left(\frac{1}{2} \xi^2 - \xi^3 + \frac{1}{2} \xi^4 \right) \end{aligned} \quad (6a)$$

oder in symbolischer Schreibweise:

$$\begin{aligned} \eta = \varrho_0 \cdot \left(\frac{4 \cdot \varrho_0}{\eta_0 \eta_0' \eta_1 \eta_1' \eta_1''} \right) \\ + \eta_0' \cdot \left(\frac{4 \cdot \eta_0'}{\varrho_0 \eta_0 \eta_1 \eta_1' \eta_1''} \right) \\ + \eta_1 \cdot \left(\frac{4 \cdot \eta_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta_0' \eta_1' \eta_1''} \right) \\ + \eta_1'' \cdot \left(\frac{4 \cdot \eta_1''}{\varrho_0 \eta_0 \eta_0' \eta_1 \eta_1'} \right) \end{aligned} \quad (6b)$$

Die Koordinaten der Einflußfunktionen

$$\begin{array}{c} \frac{4 \cdot \varrho_0}{\eta_0 \eta_0' \eta_1 \eta_1' \eta_1''} \\ \frac{4 \cdot \eta_0'}{\varrho_0 \eta_0 \eta_1 \eta_1' \eta_1''} \\ \frac{4 \cdot \eta_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta_0' \eta_1' \eta_1''} \end{array} \quad , \quad \begin{array}{c} \frac{4 \cdot \eta_0'}{\varrho_0 \eta_0 \eta_1 \eta_1' \eta_1''} \\ \frac{4 \cdot \eta_1''}{\varrho_0 \eta_0 \eta_0' \eta_1 \eta_1'} \end{array}$$

sind tabellarisch festgelegt. Die Anfangskrümmung η_0'' ergibt sich nach (3) zwangsläufig zu

$$\left. \begin{aligned} \eta_1'' + 12\eta_1 - \frac{35}{4} \varrho_0 - 6\eta_0' \\ \text{und die Fläche } \varepsilon_F \text{ zu} \\ \frac{1}{60} \eta_1'' + \frac{3}{5} \eta_1 + \frac{7}{48} \varrho_0 + \frac{1}{20} \eta_0' \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Die Angabe der Konturparameter erfolgt nicht willkürlich: damit „gute“ Konturen entstehen, sind bestimmte Bedingungen zu erfüllen. So dürfen im Nasenteil Beulen oder Ablachungen nicht auftreten. Außerdem wird im Normalfall eine von der Nase zum Scheitel hin abnehmende Krümmung verlangt. Diese Forderung bedeutet, daß die dritte Ableitung der Konturgleichung an der Stelle $\xi = 1$ niemals negativ, die vierte Ableitung derselben an der Stelle $\xi = 0$ jedoch niemals positiv sein darf.

Die Bedingungen lauten also:

$$\begin{aligned} \eta_{(\xi=1)}''' &\geq 0 \\ \eta_{(\xi=0)}'''' &\leq 0 \end{aligned}$$

Eine kurze Rechnung liefert:

$$\left. \begin{aligned} \eta_0' &\leq 4\eta_1 + \eta_1'' - \frac{35}{16} \varrho_0 \\ \eta_0' &\geq 3\eta_1 + \frac{1}{2} \eta_1'' - \frac{15}{8} \varrho_0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Schwanzteil

Für den Schwanzteil eines **spitz nach hinten zulaufenden** Profiles genügt die Angabe der gleichen Parameter wie beim Nasenteil:

$$\begin{array}{c} \varrho_0 \\ \eta_0 \\ \eta_0' \\ \eta_1 \\ \eta_1' \\ \eta_1'' \end{array}$$

Hier ist außer η_0 und η_1' im Gegensatz zum Nasenteil auch ϱ_0 gleich Null. Somit gelten die Formeln (5), (6a), (6b) und (7) auch für den Schwanzteil, wenn man $\varrho_0 = 0$ setzt. Bei der Wahl der Konturparameter hat man folgendes zu beachten:

Man erhält eine Kontur gleichmäßiger Krümmung,

$$\begin{aligned} \text{wenn } \eta_{(\xi=0)}'' = \eta_{(\xi=1)}'' \text{ und } \eta''' = 0 \\ \text{oder } \eta_0' = 2\eta_1 = -\eta_1'' \end{aligned} \quad (9)$$

eine linear veränderliche Krümmung

$$\begin{aligned} \text{wenn } \eta_{(\xi=0)}''' = \eta_{(\xi=1)}''' \text{ und } \eta'''' = 0 \\ \text{oder } \eta_0' = \frac{1}{2} \eta_1'' + 3\eta_1 \end{aligned} \quad (10)$$

eine nach hinten zunehmende Krümmung

$$\begin{aligned} \text{wenn } \eta_{(\xi=0)}'' > 0 \\ \text{oder } \eta_0' > \frac{1}{3} \eta_1'' + \frac{8}{3} \eta_1 \end{aligned} \quad (11)$$

eine nach hinten abnehmende Krümmung

$$\begin{aligned} \text{wenn } \eta_{(\xi=0)}'' < 0 \\ \text{oder } \eta_0' < \frac{1}{3} \eta_1'' + \frac{8}{3} \eta_1 \end{aligned} \quad (12)$$

hohle Flanken am Profilende

$$\begin{aligned} \text{wenn } \eta_{(\xi=0)}'' > 0 \\ \text{oder } \eta_0' < \frac{1}{6} \eta_1'' + 2\eta_1 \end{aligned} \quad (13)$$

keine Beulen oder Abflachungen

$$\begin{aligned} \text{wenn } \eta''' \neq 0 \text{ für } 0 < \xi < 1 \\ \text{oder wenn der Wert des Quotienten} \\ \frac{3\eta_0' - \eta_1'' - 8\eta_1}{4\eta_0' - 2\eta_1'' - 12\eta_1} \text{ nicht zwischen} \\ 0 \text{ und } 1 \text{ liegt.} \end{aligned} \quad (14)$$

Bei Profilkonturen mit hinten **parallel zur Symmetrieachse verlaufendem geraden Teil** (Abb. 2 unten) liegen die Verhältnisse anders. In diesem Fall muß für den Schwanzteil $\eta_0'' = 0$ gelten, damit die Kurve beim Übergang zur Geraden gut strakt. Zur Aufstellung der Konturgleichung sind folgende Parameter vorzuschreiben:

$$\begin{array}{c} \varrho_0 \\ \eta_0 \\ \eta_0' \\ \eta_0'' \\ \eta_1 \\ \eta_1' \\ \eta_1'' \end{array}$$

Man erhält ein Polynom fünfter Ordnung und unter Beachtung von (3) mit $\varrho_0 = \eta_0' = \eta_0'' = \eta_1' = 0$:

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \eta_0 \\ \alpha_3 &= \frac{\eta_1''}{2} + 10\eta_1 - 10\eta_0 \\ \alpha_4 &= -\eta_1'' - 15\eta_1 + 15\eta_0 \\ \alpha_5 &= \frac{\eta_1''}{2} + 6\eta_1 - 6\eta_0 \end{aligned}$$

Die Konturgleichung lautet:

$$\begin{aligned} \eta = \eta_0 + \left(\frac{\eta_1''}{2} + 10\eta_1 - 10\eta_0 \right) \xi^3 + (-\eta_1'' - 15\eta_1 + 15\eta_0) \xi^4 \\ + \left(\frac{\eta_1''}{2} + 6\eta_1 - 6\eta_0 \right) \xi^5 \end{aligned} \quad (15)$$

oder

$$\begin{aligned} \eta = \eta_0 (1 - 10\xi^3 + 15\xi^4 - 6\xi^5) \\ + \eta_1 (10\xi^3 - 15\xi^4 + 6\xi^5) \\ + \eta_1'' \left(\frac{1}{2} \xi^3 - \xi^4 + \frac{1}{2} \xi^5 \right) \end{aligned} \quad (16a)$$

oder symbolisch:

$$\begin{aligned} \eta = \eta_0 \cdot \left(\frac{5 \cdot \eta_0}{\varrho_0 \eta_0' \eta_0'' \eta_1 \eta_1' \eta_1''} \right) \\ + \eta_1 \cdot \left(\frac{5 \cdot \eta_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta_0' \eta_0'' \eta_1' \eta_1''} \right) \end{aligned}$$

$$+ \eta_1'' \cdot \left(\frac{5 \cdot \eta_1''}{\varrho_0 \eta_0 \eta_0' \eta_0'' \eta_1 \eta_1'} \right) \quad (16b)$$

Die Koordinaten der Einflußfunktionen

$$\frac{5 \cdot \eta_0}{\varrho_0 \eta_0' \eta_0'' \eta_1 \eta_1' \eta_1''}, \quad \frac{5 \cdot \eta_1}{\varrho_0 \eta_0 \eta_0' \eta_0'' \eta_1' \eta_1''} \quad \text{und}$$

$$\frac{5 \cdot \eta_1''}{\varrho_0 \eta_0 \eta_0' \eta_0'' \eta_1 \eta_1'}$$

sind ebenfalls in Tabellenform festgelegt.

Die Fläche ε_F ergibt sich zwangsläufig zu

$$\frac{1}{120} \eta_1'' + \frac{1}{2} \eta_1 + \frac{1}{2} \eta_0 \quad (17)$$

Bei der Wahl der Parameter ist folgendes zu beachten: Die Kontur darf zwischen $\xi = 0$ und $\xi = 1$ keine Extremwerte aufweisen. Diese Forderung bedeutet, daß die dritte Ableitung der Konturgleichung an der Stelle $\xi = 0$ nicht negativ sein darf.

Die Bedingung lautet:

$$\eta_1'''(\xi=0) \geq 0 \quad \text{oder} \quad \eta_1'' + 20 \eta_1 - 20 \eta_0 \geq 0 \quad (18)$$

Zusammenfügungsbedingung für Nasen- und Schwanzteil

Die Konturen des Nasen- und Schwanzteiles werden, wie gesagt, getrennt berechnet. Um eine strakende Zusammenfügung beider Teile zu erhalten, müssen Endordinate η_1 , Endneigung η_1' und Endkrümmung η_1'' von Nasen- und Schwanzteil miteinander gekoppelt werden. Für die Endneigung η_1' erübrigt sich jede Diskussion, da sie für beide Teile gleich Null gewählt worden ist.

Mit

$$\eta_{1n} = \frac{B}{2n} \quad (\text{Abb. 2})$$

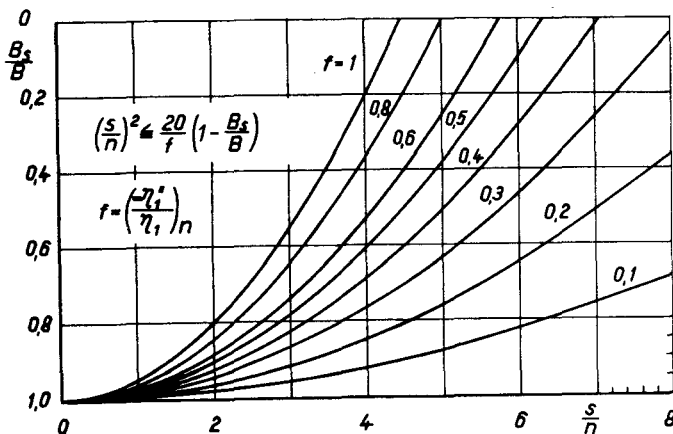
$$\eta_{1s} = \frac{B}{2s}$$

$$\eta_{1n}'' = \frac{n}{r_B} \quad \text{und}$$

$$\eta_{1s}'' = \frac{s}{r_B}$$

erhält man als Zusammenfügungsbedingung:

$$\eta_{1s} = \frac{n}{s} \eta_{1n} \quad \text{und} \quad \eta_{1s}'' = \frac{s}{n} \eta_{1n}'' \quad (19)$$



Beispiele

Gegeben: $f = 0.5$, $\frac{B_s}{B} = 0.3$ Dann ist: $0 < \frac{s}{n} \leq 5.27$
 $f = 0.5$, $\frac{s}{n} = 4$ $0 < \frac{B_s}{B} \leq 0.6$
 $\frac{B_s}{B} = 0.1$, $\frac{s}{n} = 6$ $0 < f \leq 0.5$

Abb. 3: Größte Hinterkanten-Dicken zur Erzielung entartungsfreier Konturen im Schwanzteil von Ruderprofilen

bzw.:

$$\left(\frac{\eta_1''}{\eta_1} \right)_s = \left(\frac{s}{n} \right)^2 \cdot \left(\frac{\eta_1''}{\eta_1} \right)_n \quad (20)$$

(Index n für Nasenteil und Index s für Schwanzteil) Formel (18), die die Bedingung für Entartungsfreiheit für den Schwanzteil eines Profils mit hinten parallel auslaufenden Flanken darstellt, läßt sich schreiben:

$$\frac{\eta_1''}{\eta_1} + 20 - 20 \frac{\eta_0}{\eta_1} \geq 0$$

$$\text{Mit (20) und } \frac{\eta_0}{\eta_1} = \frac{B_s}{B} \quad (\text{Abb. 2})$$

erhält man

$$\left(\frac{s}{n} \right)^2 \cdot \left(\frac{\eta_1''}{\eta_1} \right)_n + 20 - 20 \frac{B_s}{B} \geq 0$$

und mit $\left(\frac{\eta_1''}{\eta_1} \right)_n = -f$, wobei $f \geq 0$,

$$f \leq 20 \left(\frac{n}{s} \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{B_s}{B} \right) \quad (\text{Abb. 3}) \quad (21)$$

Formel (21) gilt also für Profile mit hinten parallel zur Symmetrieebene auslaufenden Flanken und ist durch Kopplung von Formel (18) mit der Zusammenfügungsbedingung (20) entstanden. f ist mit den Parametern des Nasenteils durch Formel (8) verbunden.

IV. Konturgleichungen besonderer Profile

Als besondere Profile werden Profile mit elliptischen Nasen und Kreisnasen sowie parabolische Profile, bei denen zur Ermittlung der Gesamtkontur nur die Angabe des Dickenverhältnisses $\frac{B}{L}$ erforderlich ist und auch Joukowsky-Profile bezeichnet.

Profile mit elliptischen Nasen

Sind a und b die Hauptachsen einer Ellipse (Abb. 4), so lautet die Ellipsengleichung bezogen auf die v - w -Achse:

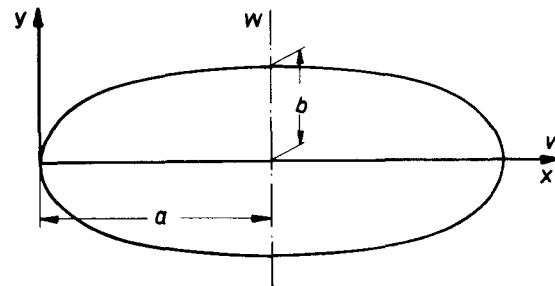


Abb. 4: Zur Transformation des Koordinatensystems bei der Ellipse

$$\frac{v^2}{a^2} + \frac{w^2}{b^2} - 1 = 0$$

und bezogen auf die x - y -Achse:

$$\frac{(x-a)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - 1 = 0$$

Mit

$$a = \text{Nasenlänge } n \text{ und}$$

$$b = \text{halbe Dicke } \frac{B}{2}$$

läßt sich die Gleichung schreiben:

$$\frac{(x-n)^2}{n^2} + 4 \frac{y^2}{B^2} - 1 = 0$$

Aufgelöst nach y :

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

Nach Division mit n und mit

$$\frac{y}{n} = \eta, \quad \frac{B}{2n} = \eta_1 \text{ und } \frac{x}{n} = \xi$$

erhält man die Ellipsengleichung:

$$\eta = \eta_1 \cdot \sqrt{2\xi - \xi^2} \quad (22)$$

Man erhält weiter:

$$\eta_1'' = -\eta_1 \quad (23)$$

Man sieht, daß die Ellipsengleichung nur von einem Parameter abhängig ist und daß die Scheitelkrümmung gleich dem negativen Wert der Endordinate ist.

Mit (23) werden die Zusammenfügungsbedingungen (20) und (21)

$$\left(\frac{\eta_1''}{\eta_1} \right)_s = - \left(\frac{s}{n} \right)^2 \quad (24)$$

bzw.

$$\left(\frac{s}{n} \right)^2 \leq 20 \left(1 - \frac{B_s}{B} \right) \quad (25)$$

Profile mit Kreisnasen

Es ist $n = \frac{B}{2}$ und außerdem ebenfalls $\eta_1'' = -\eta_1$.

Die Zusammenfügungsbedingung (21) wird

$$s^2 \leq 5 (B^2 - B \cdot B_s) \quad (26)$$

Profile mit verschwindender Scheitelkrümmung

Es ist $\eta_{1n}'' = \eta_{1s}'' = 0$.

Dieser Fall tritt auf bei „Spantflächenkurven“ bzw. „Wasserlinien“-Profilen mit „parallelem Mittelschiff“.

Mit $f = \left(\frac{-\eta_1''}{\eta_1} \right)_n = 0$ lautet die Zusammenfügungsbedingung (21):

$$0 \leq 1 - \frac{B_s}{B} \quad \text{oder}$$

$$\frac{B_s}{B} \leq 1$$

Diese Bedingung ist für Ruderprofile im allgemeinen erfüllt, so daß nur noch der erste Teil der Bedingung (19) bei Profilen mit verschwindender Scheitelkrümmung zu beachten ist.

Einfaches parabolisches Profil

Die Gesamtkontur eines Profiles läßt sich durch folgende einfache Gleichung darstellen:

$$\psi = a \cdot \chi^{1/2} + b \cdot \chi$$

Dabei ist die dimensionslose Ordinate $\psi = \frac{y}{B/2}$ und die

dimensionslose Abszisse $\chi = \frac{x}{L}$. Der Koordinatenursprung

falle mit der Profilnase in einem Punkt zusammen und die

Dickenrücklage des Profiles $\frac{n}{L}$ betrage 0,25. Die Faktoren

a und b lassen sich dann aus den Bedingungen $\psi_{(x=1)} = 0$ $\psi_{(x=0,25)} = 1$ ermitteln. Man erhält:

$$a = 4 \text{ und } b = -4$$

Die Konturgleichung, bezogen auf die Profilnase, lautet also:

$$\frac{y}{B/2} = 4 \sqrt{\frac{x}{L}} - 4 \frac{x}{L} \quad (27)$$

Wenn das Dickenverhältnis $\frac{B}{L}$ vorgegeben ist, läßt sich mit (27) die gesamte Profilkontur ermitteln.

Gleichung (27) läßt sich wie früher spalten in eine Gleichung für den Nasenteil und eine für den Schwanzteil.

Mit $n = 0,25 L$, $\eta = \frac{y}{n}$ und $\xi = \frac{x}{n}$ erhält man für den Nasenteil:

$$\eta = 4 \frac{B}{L} \sqrt{\xi} - 2 \frac{B}{L} \xi$$

und die Parameter

$$\left. \begin{aligned} \eta_0 &= 4 \frac{B}{L} \\ \eta_0' &= -2 \frac{B}{L} \\ \eta_0'' &= 0 \\ \eta_1 &= 2 \frac{B}{L} \\ \eta_1'' &= -\frac{B}{L} \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Die Gleichung für den Schwanzteil entsteht aus (27) durch Bildung der inversen Funktion.

Mit

$$\frac{z}{L} = 1 - \frac{x}{L}, \quad s = 0,75 L, \quad \eta = \frac{y}{s} \text{ und } \xi = \frac{z}{s}$$

erhält man:

$$\eta = \frac{2B}{L \cdot \sqrt{0,75}} \sqrt{\frac{1}{0,75} - \xi} + \frac{2B}{L} \xi - \frac{2B}{0,75 \cdot L}$$

und die Parameter

$$\left. \begin{aligned} \eta_0' &= \frac{B}{L} \\ \eta_0'' &= -\frac{3}{8} \frac{B}{L} \\ \eta_1 &= \frac{2}{3} \frac{B}{L} \\ \eta_1'' &= -3 \frac{B}{L} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Joukowsky-Profil

Die Joukowsky-Profilen entstehen bekanntlich durch konforme Abbildung eines Kreises. Jedes J-Profil läßt sich durch Angabe von den beiden Parametern f/l und d/l exakt konstruieren [4]. (f/l = Wölbungsparameter, d/l = Dickenparameter). Es ist zu beachten, daß weder d mit der Profildicke B noch l mit der Profillänge L identisch ist. Merkmal von Joukowsky-Profilen ist der verschwindende Hinterkantenwinkel. Abb. 5 zeigt die Konstruktion von symmetrischen J-Profilen ($Wölbung f = 0$). Eine kurze Erläuterung dazu:

M_1 ist der Mittelpunkt des Kreises K_1 mit dem Radius $r_1 = l + d$.

M_2 ist der Mittelpunkt des Kreises K_2 mit dem Radius $r_2 = \frac{SV_2}{2}$; $SV_2 = SO + OV_2 = l + \frac{l^2}{OV_1} = l + \frac{l^2}{l + 2d}$

Es werden in O nach oben und unten beliebige große gleiche Winkel ε angetragen. A_1 und A_2 sind Schnittpunkte der Schenkel mit den Kreisen K_1 und K_2 . Der Halbierungspunkt P von $A_1 A_2$ ist ein Profilmittelpunkt.

Anhand der Konstruktion ist es aber auch möglich, einfache Konturgleichungen für J-Profilen anzugeben.

Es ist nämlich:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= l + d \\ r_2 &= \frac{l^2 + d l}{l + 2d} \\ OV_1 &= l + 2d \\ OV_2 &= \frac{l^2}{OV_1} = \frac{l^2}{l + 2d} \\ OM_1 &= d \\ OM_2 &= r_2 - OV_2 = \frac{d l}{l + 2d} \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

Mit dem Sinussatz ergibt sich:

$$\text{Winkel } OA_2 M_2 = \text{Winkel } OA_1 M_1.$$

Dieser Winkel sei β genannt.

$$\sin \beta = \frac{d}{l + d} \sin \varepsilon \quad (31)$$

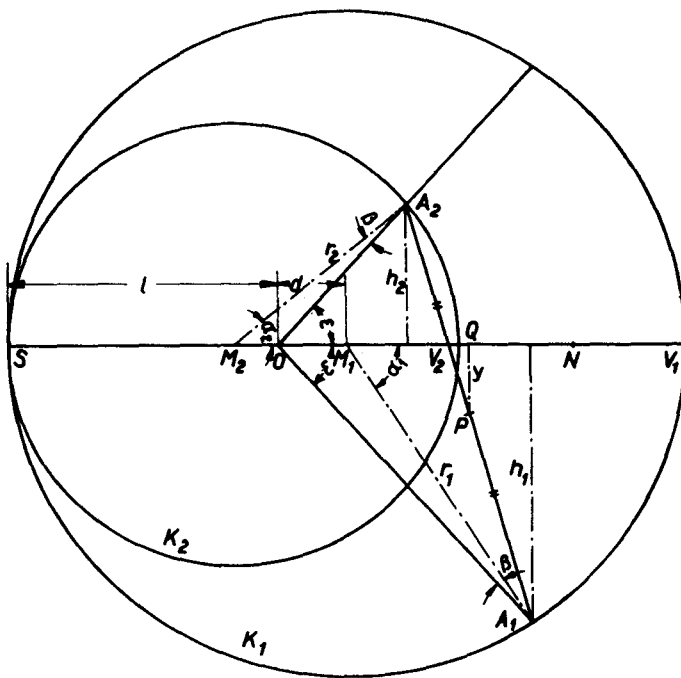


Abb. 5: Konstruktion symmetrischer Joukowsky-Profile nach [4]

Die Ordinate des Profilpunktes P:

$$y = \frac{h_1 - h_2}{2} = \frac{r_1 \sin \alpha_1 - r_2 \sin \alpha_2}{2}$$

Mit $\alpha_1 = \varepsilon + \beta$ und $\alpha_2 = \varepsilon - \beta$ ergibt sich die örtliche Profildicke:

$$2y = r_1 \sin(\varepsilon + \beta) - r_2 \sin(\varepsilon - \beta) \quad (32)$$

Weiter ist, mit N = Profilnase:

$$ON = \frac{OV_1 + OV_2}{2} = \frac{l^2 + 2d^2 + 2dl}{l + 2d}$$

und

$$OQ = \frac{r_2 \cos \alpha_2 - OM_2 + r_1 \cos \alpha_1 + OM_1}{2} \\ = \frac{r_2}{2} \cos \alpha_2 - \frac{dl}{2(l + 2d)} + \frac{r_1}{2} \cos \alpha_1 + \frac{d}{2}$$

Damit ist die Abszisse des Profilpunktes P bezogen auf die Nase:

$$NQ = ON - OQ = \frac{(l + d)^2}{l + 2d} - \frac{l^2 + dl}{2(l + 2d)} \cdot \cos(\varepsilon - \beta) - \frac{l + d}{2} \cos(\varepsilon + \beta) \quad (33)$$

Die Profillänge

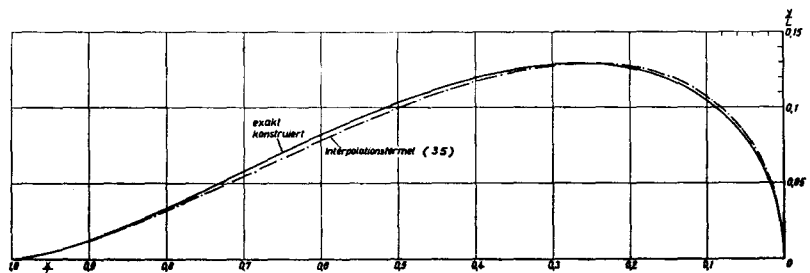
$$L = SO + ON = \frac{2(l + d)^2}{l + 2d} \quad (34)$$

(32) läßt sich schreiben:

$$2y = (r_1 - r_2) \cdot \sin \varepsilon \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{d}{l + d}\right)^2 \sin^2 \varepsilon} \\ + (r_1 + r_2) \cdot \frac{d}{l + d} \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \varepsilon$$

Abb. 6: Kontur des Joukowsky-Profiles

$$\frac{d}{l} = 0,25 \text{ (überhöht)}$$



$$\text{Es sei } \sqrt{1 - \left(\frac{d}{l + d}\right)^2 \sin^2 \varepsilon} \approx 1$$

Für $(2y)' = 0$ erhält man als Lösungen $\varepsilon = 60^\circ$ und $\varepsilon = 180^\circ$. Das heißt, daß die größte Profildicke mit $\varepsilon = 60^\circ$ erreicht wird und daß der Hinterkantenwinkel, wie erwähnt, gleich Null ist.

Bei vorgegebenem $\frac{d}{l}$ lassen sich die Länge eines symmetrischen J-Profiles mit (34) und die Koordinaten mit (32) und (33) exakt ausrechnen. Dabei wählt man ε am besten alle zehn Grad zwischen 0 und 180 Grad, so daß man 17 Profilpunkte erhält.

Gelegentlich wird zur Konstruktion von J-Profilen folgende auf die Nase bezogene Interpolationsformel benutzt:

$$\frac{y}{B/2} = 3,08 \left(1 - \frac{x}{L}\right) \cdot \sqrt{\frac{x}{L} - \left(\frac{x}{L}\right)^2} \quad (35)$$

Eine nach dem in Abschnitt V beschriebenen Verfahren aufgestellte Interpolationsformel für ein Joukowsky-Profil mit

$$\frac{d}{l} = 0,25 \text{ lautet:}$$

$$\left. \begin{aligned} &\text{für den Nasenteil: } \eta = 0,667 \cdot \left(\frac{4 \cdot \varepsilon_0}{\eta_0 \eta_0' \eta_1 \eta_1' \eta_1''} \right) \\ &+ 0,162 \cdot \left(\frac{4 \cdot \eta_0'}{\varepsilon_0 \eta_0 \eta_1 \eta_1' \eta_1''} \right) + 0,48 \cdot \left(\frac{4 \cdot \eta_1}{\varepsilon_0 \eta_0 \eta_0' \eta_1' \eta_1''} \right) \\ &- 0,4 \cdot \left(\frac{4 \cdot \eta_1''}{\varepsilon_0 \eta_0 \eta_0' \eta_1 \eta_1'} \right) \\ &\text{und für den Schwanzteil: } \eta = 0,1765 \cdot \left(\frac{5 \cdot \eta_1}{\varepsilon_0 \eta_0 \eta_0' \eta_1' \eta_1'' \varepsilon_F} \right) \\ &- 1,086 \cdot \left(\frac{5 \cdot \eta_1''}{\varepsilon_0 \eta_0 \eta_0' \eta_1 \eta_1' \varepsilon_F} \right) \\ &+ 0,0945 \cdot \left(\frac{5 \cdot \varepsilon_F}{\varepsilon_0 \eta_0 \eta_0' \eta_1 \eta_1' \eta_1''} \right) \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

Die Entwicklung dieser Formeln ist in einer späteren hierzu ergänzenden Arbeit im Einzelnen dargelegt [5]. Das Ausrechnen dieser Formeln bringt keine Schwierigkeiten mit sich und kann schnell und auf einfache Weise geschehen, da die in Klammern gesetzten Einflußfunktionen als Tabellenwerte zur Verfügung gestellt werden können.

Abb. 6 zeigt eine Gegenüberstellung zwischen einer nach (35) gerechneten und einer exakt konstruierten Kontur für ein J-Profil mit $\frac{d}{l} = 0,25$. Die Kontur nach (36) fällt in die Strichstärke der exakten Kontur und beweist damit die über (35) überlegene Genauigkeit.

V. Analyse vorgegebener Konturen

Ist eine beliebige Kontur gestreckt vorgegeben, so empfiehlt sich eine Unterteilung der Kontur in geeigneten Abschnitten. So sind z. B. bei Spantflächenkurven die Entrance-Länge und die Run-Länge, bei Ruderprofilen die Nasenlänge und die Schwanzlänge bereits bewährte Abszissenabschnitte. Die so unterteilte Kontur läßt sich mathematisch durch ein Polynom der Form (1) darstellen. Bei der Analyse handelt es sich nun darum, die unbekannten Faktoren $a_0, a_{0,5}, a_1, a_2$ usw. bzw. die Parameter (3) der graphisch vorgegebenen Kontur zu ermitteln. Ist dies geschehen, so ist die Kontur mathematisch festgelegt.

Die Parameter η_0 , η_1 und, wenn erforderlich, $\eta_{0,5}$ sind sofort als die dimensionslosen Aufmaße an den betreffenden Stellen der zu analysierenden Kontur abzulesen. Mit einem Planimeter läßt sich ε_F ebenfalls sofort ermitteln.

Es wird daran erinnert, daß $a_0 = \eta_0$, $a_{0,5} = \varepsilon_0$, $a_1 = \eta_0'$, $a_2 = \frac{\eta_0''}{2}$, $a_3 = \frac{\eta_0'''}{6}$ usw. ist.

Man kann Formel (1) auch schreiben:

$$\eta = \eta_0 + \varepsilon_0 \cdot \xi^{1/2} + \eta_0' \cdot \xi^2 + \frac{\eta_0''}{2} \cdot \xi^3 + \frac{\eta_0'''}{6} \cdot \xi^4 + \dots$$

und nach einer kleinen Umformung:

$$\frac{\eta - \eta_0}{\sqrt{\xi}} = \varepsilon_0 + \eta_0' \cdot \sqrt{\xi} + \frac{\eta_0''}{2} \cdot \xi^{3/2} + \frac{\eta_0'''}{6} \cdot \xi^{5/2} + \dots \quad (37)$$

Die linke Seite von (37) läßt sich ausrechnen und graphisch als Funktion von ξ auftragen. Der Wert dieser Funktion an der Stelle $\xi = 0$ ist gleich ε_0 .

Formel (37) kann man wieder umformen:

$$\frac{\frac{\eta - \eta_0}{\sqrt{\xi}} - \varepsilon_0}{\sqrt{\xi}} = \eta_0' + \frac{\eta_0''}{2} \cdot \xi + \frac{\eta_0'''}{6} \cdot \xi^2 + \dots \quad (38)$$

Wieder läßt sich die linke Seite von (38) ausrechnen und graphisch über ξ auftragen. Durch Ausstraken der Kurve auf $\xi = 0$ erhält man dort den Wert von η_0' .

Zur Berechnung von η_0'' formt man (38) um:

$$\frac{\frac{\frac{\eta - \eta_0}{\sqrt{\xi}} - \varepsilon_0}{\sqrt{\xi}} - \eta_0'}{\xi} = \frac{\eta_0''}{2} + \frac{\eta_0'''}{6} \cdot \xi + \dots \quad (39)$$

Die linke Seite von (39) läßt sich wieder ausrechnen und graphisch über ξ auftragen. Der Wert der Funktion an der Stelle $\xi = 0$ ist gleich $\frac{\eta_0''}{2}$.

Auf die gleiche Weise kann man, wenn erforderlich, η_0''' , η_0'''' usw. ermitteln.

Die vorgegebene Kontur läßt sich auch mathematisch darstellen durch folgendes Polynom:

$$\eta = b_0 + b_1 \cdot \zeta + b_2 \cdot \zeta^2 + b_3 \cdot \zeta^3 + \dots$$

mit $\zeta = 1 - \xi$

Um die Differentialparameter bei $\xi = 1$ (η_1' , η_1'' , η_1''' usw.) zu erhalten, ist die Benutzung dieses Polynoms empfehlenswert.

$$\eta = b_0 + b_1 \cdot (1 - \xi) + b_2 \cdot (1 - \xi)^2 + b_3 \cdot (1 - \xi)^3 + \dots$$

Man erhält:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= b_0 \\ \eta_1' &= -b_1 \\ \eta_1'' &= 2b_2 \\ \eta_1''' &= -6b_3 \\ &\text{usw.} \end{aligned}$$

Damit lautet das Polynom:

$$\eta = \eta_1 - \eta_1' \cdot (1 - \xi) + \frac{\eta_1''}{2} \cdot (1 - \xi)^2 - \frac{\eta_1'''}{6} \cdot (1 - \xi)^3 + \dots \quad (40)$$

Durch Umformung von (40) entsteht:

$$\frac{\eta - \eta_1}{1 - \xi} = -\eta_1' + \frac{\eta_1''}{2} \cdot (1 - \xi) - \frac{\eta_1'''}{6} \cdot (1 - \xi)^2 + \dots \quad (41)$$

Die linke Seite von (41) läßt sich ausrechnen und graphisch über ξ auftragen. Durch Ausstraken der Kurve auf $\xi = 1$ erhält man dort den negativen Wert von η_1' .

(41) wird wieder umgeformt:

$$\frac{\frac{\eta - \eta_1}{1 - \xi} + \eta_1'}{1 - \xi} = \frac{\eta_1''}{2} - \frac{\eta_1'''}{6} \cdot (1 - \xi) + \dots \quad (42)$$

Durch Ausrechnen der linken Seite von (42), auftragen über ξ und Ausstraken der Kurve auf $\xi = 1$ erhält man dort

$$\frac{\eta_1''}{2}$$

Auf gleiche Weise kann man η_1''' , η_1'''' usw. erhalten.

In [2] sind auch die Methoden zur Ermittlung der Parameter

$$\int_0^1 \eta \xi d\xi, \int_0^1 \eta \xi^2 d\xi, \eta_{0,5}' \text{ und } \eta_{0,5}'', \text{ die dann und}$$

wann bei mathematischen Schiffslinien benutzt werden, gegeben.

Es ist sinnvoll, nach Ermittlung einiger wesentlicher Parameter eine kurze Kontrollrechnung für einige Konturpunkte nach Formel (4) zu machen. Oft wird mit den erhaltenen Parametern bereits eine ausreichende Approximation der Kontur erreicht. Ist dies jedoch nicht der Fall, so sind noch mehr Parameter zu bestimmen. Mathematisch bedeutet dies, daß man den Grad des Polynoms, durch das die Kontur dargestellt werden soll, erhöht.

Die Vorteile dieses graphisch-analytischen Verfahrens liegen darin, daß man erstens etwaige Fehler der Kontur durch Ausstraken der berechneten Werte beseitigen und zweitens beliebig viele Parameter ohne nennenswerten zusätzlichen Aufwand ermitteln kann. Damit läßt sich die Genauigkeit beliebig steigern. Die bisher vielfach benutzte Methode („Stützstellenmethode“) setzt ja den Grad des Polynoms und damit die Genauigkeit von vornherein fest. Man ermittelt dann die Parameter, indem man das Polynom durch einige Konturpunkte gehen läßt. Es besteht hier die Gefahr, daß man die „falschen“ Punkte der Kontur erwischt. Außerdem läßt sich die Genauigkeit nur mit erheblichem zusätzlichem Rechenaufwand steigern.

VI. Schlußbemerkungen

Jede strakende Kontur kann als die Summe von je mit einem Faktor multiplizierten Einflußfunktionen dargestellt werden. Jede Einflußfunktion stellt eine Potenzreihe dar, die einfachen Randbedingungen genügt. Es ist naheliegend, diese Einflußfunktionen bei Vorgabe der Randbedingungen von vornherein zu berechnen und die Aufmaße der Funktionen [die $\eta(\xi)$ -Werte] tabellarisch festzulegen. Damit wird eine erhebliche Verkürzung und Vereinfachung der Rechenarbeit erreicht. Die am Institut für Schiffbau der Universität Hamburg entworfenen und experimentell untersuchten Ruderprofile sind mathematisch nach dem in dieser Arbeit dargelegten Verfahren bestimmt worden.

Anwendungsbeispiele zum Entwurf von Ruderprofilen und zur Analyse gestrakt vorgegebener Profilkonturen ergänzen diese Arbeit und werden demnächst veröffentlicht werden [5].

VII. Schrifttum

- [1] Weinblum, G.: Exakte Wasserlinien und Spantflächenkurven. Schiffbau 1934, S. 120, 135.
- [2] Thieme, H.: Über Grundlagen für den mathematischen Linienriß eines Frachtschiffes. Schiffstechnik 1956, S. 288
- [3] Thieme, H.: Zur Formgebung von Schiffsrudern. STG-Jahrbuch 1962.
- [4] Schrenck, O.: Theoretisches über die Joukowsky-Profile. Ergebnisse der AVA zu Göttingen, III. Lieferung (1935)
- [5] Kwik, K. H.: Anwendungsbeispiele zur Darstellung der Profilform von Schiffsrudern. Erscheint demnächst in „Schiff und Hafen“
- [6] Kwik, K. H.: Tabellen zur Darstellung der Konturen von Schiffslinien und Ruderprofilen. Bericht des Instituts für Schiffbau der Universität Hamburg