

33 | 1956

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

H. Thieme

Über Grundlagen für den mathematischen Linienriß eines Frachtschiffes

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Über Grundlagen für den mathematischen Liniensriß eines Frachtschiffes

H. Thieme, Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

S O N D E R D R U C K

aus Heft 18, 1956

der „Schiffstechnik“, Forschungshefte für Schiffbau und Schiffsmaschinenbau

Über Grundlagen für den mathematischen Liniendiagramm eines Frachtschiffes

H. Thieme, Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

Die mathematische Darstellung der Schiffsoberfläche hat bisher eigentlich nur bei den Taylor-Serien und bei der Wellenwiderstandsforschung eine nützliche Anwendung finden können. Die Anwendung einer solchen „Strak“-Methode muß aber keineswegs auf spezielle systematische oder rein theoretische Zielsetzungen beschränkt bleiben. Die Anwendung auch auf normale, allgemeine Schiffformen ist möglich, wenn eine entsprechende Aufgliederung der Schiffform und eine Anpassung der Konturgleichungen vorgenommen werden. Grundlagen und Ausgangspunkt für ein solches Verfahren werden hier angegeben. Die methodische Analyse der Schiffform ist in gleicher Weise auch für nicht mathematische Schiffformen sinnvoll.

Gliederung

- A. Einführung
- B. System der Konturgleichungen
- C. Analyse gestrahter Konturen
- D. Hauptabmessungen und Hauptformgrößen der Verdrängung
- E. Zur Anwendung und Ergänzung des Verfahrens
- F. Schrifttum

A. Einführung

Die Verwendung mathematisch definierter Kurven für die Darstellung der Schiffform, insbesondere des Unterwasserschiffes, hat im Prinzip schon sehr früh in der Geschichte des Schiffbaus begonnen. In [21] und [27] ist ein umfangreiches Literaturverzeichnis hierzu angegeben, das durch den Hinweis auf [1], [6], [10], [12], [13], [16], [19] noch zu ergänzen ist. Trotz dieses — in Anbetracht der Spezialität des Problems — recht umfangreichen Literaturaufwands ist die Anwendung mathematischer Schiffslinien bisher nicht nur äußerst selten gewesen, sondern die Anwendung hat sich auch auf sehr spezielle mehr systematische als aktuelle Formen bzw. nur auf einige der vielen Linien eines Schiffes beschränkt. Der größte Effekt auf diesem Gebiet ist wohl von D. W. Taylor und Weinblum erzielt worden. Diese Arbeiten haben mitgeholfen, den graphisch gestrahten Liniendiagramm widerstandsmäßig so weit zu verbessern, daß der Umfang möglicher weiterer Verbesserungen — statistisch gesehen — stark reduziert erscheint.

Als Ergebnis der praktischen Einführung mathematischer Liniendiagramme kann also kaum eine bedeutende Verbesserung in der Wirtschaftlichkeit des Schiffsantriebs erwartet werden. Die noch denkbare Verbesserung in dieser Hinsicht ist auch ohne Anwendung mathematischer Linien grundsätzlich möglich. Doch wird der von den Forschungsanstalten für diese Verbesserungen zu leistende Aufwand immer größer. Eine Reduzierung

des notwendigen experimentellen Aufwandes ist nur durch Verbesserung der theoretischen Hilfen denkbar. Für beide Arten der Forschung aber ist die systematische Erfassung der Schiffform eine immer unumgänglicher werdende Hilfe. Die systematische Erfassung muß dabei aber so weit getrieben werden, daß die nicht erfaßten Formunterschiede widerstandsmäßig belanglos bleiben. Dieser Forderung aber werden alle die Formsystematiken nicht gerecht, die auf die mathematische Analyse der einzelnen Konturen verzichten [9], [11], [17], [18], [22], [23]. Auch eine nur auf die Verdrängungsverteilung beschränkte [26] und nicht weit genug gehende mathematische Analyse der Form [19] ist für den genannten Zweck nicht voll ausreichend.

Schließlich verbleibt auch noch die in [21] erwähnte Zielsetzung des mathematischen Liniendiagramms, die praktische Anfertigung eines für den Schnürboden oder die Projektionsvorlage ausreichend genauen Aufmaßes zu vereinfachen und zu beschleunigen und auf der anderen Seite für Projektzwecke sofort einen Liniendiagramm mit richtiger Verdrängung und Schwerpunktlage aufzeichnen zu können.

Das Schrifttum zeigt, daß die mathematischen Methoden für einen Liniendiagramm bereits so eingehend behandelt sind, daß sich als brauchbares mathematisches Handwerkszeug das Polynom mit vorwiegend ganzzahligen Exponenten herausgeschält hat. Auch in der Definition der einzelnen Formparameter sind keine Mißverständnisse mehr zu befürchten. Daß die Bezeichnungweise noch völlig uneinheitlich ist, spielt demgegenüber im gegenwärtigen Stadium der Entwicklung keine beängstigende Rolle. Über die Methode der Anwendung auf das gesamte Schiff als eine Zusammenfügung einer ganzen Anzahl dieser einzelnen mathematischen Konturen ist bisher allerdings noch nichts veröffentlicht worden. — Allein die Existenz des parallelen Mittelschiffes schließt die Verwendung einer einzigen Funktion für einen ganzen Schiffkörper aktueller Form natürlich aus. — Da sich aus den bisherigen Veröffentlichungen die Methode der Anwendung auf das gesamte aktuelle Schiff nicht „ohne Schwierigkeiten leicht“ ergibt, so ist es auch nicht verwunderlich, daß über den Entwurf eines mathematischen Liniendiagramms für ein Schiff aktueller Form bisher ebenfalls nichts bekanntgeworden ist.

Es ist daher naheliegend, daß mathematische Liniendiagramme zunächst einmal von den Instituten, die dieser Frage nahe stehen, bei Modelluntersuchungen verwendet werden. Dank der großzügigen Hilfe des Bundesministeriums für Verkehr, die dem Institut für Schiffbau der Universität Hamburg für Stabilitätsuntersuchungen gewährt worden ist, ergibt sich so ein solcher Anlaß. Der vorliegende Bericht soll hierzu eine Zusammenstellung und Ergänzung der Grundlagen für die mathematischen Hilfsmittel und die Methode der Erfassung der Form und Durchführung der Rechnung geben.

B. System der Konturgleichungen

Von den sehr vielen Möglichkeiten der mathematischen Darstellung einer Schiffskurve ist — wie bereits erwähnt — das Polynom mit fast nur ganzzahligen Exponenten ausgewählt worden, da es einen Formenreichtum besitzt, der den Bedürfnissen der Schiffslinien gut angepaßt werden kann und dazu auch noch einfach und übersichtlich zu behandeln ist, so daß seine Verwendung in einem technischen Büro des Schiffbaus keine Einführung neuer Rechenmethoden erforderlich macht. Auf dieser Basis ist außerdem die Analyse graphisch vorgegebener Schiffslinien eindeutig durchzuführen. Das in [20] niedergelegte und in [21] veröffentlichte System ist gegenüber den schon früher angegebenen Systemen lediglich hinsichtlich der Bequemlichkeit, Übersichtlichkeit und des Formenreichtums weiter entwickelt worden. Zu dieser Entwicklung gehört auch, daß man die Gleichung einer Kontur nicht mehr als eine einzige Potenzreihe darstellt, sondern vielmehr als eine Summierung von speziellen Potenzreihen, den sogenannten Einflußgleichungen. Wie naheliegend dieser Gedanke ist, geht daraus hervor, daß nach einem Zitat in [5] Landweber nahezu gleichzeitig und in gegenseitiger Unabhängigkeit das gleiche Prinzip auch schon angewendet hat [10]: diese Arbeit ist in [21] unter Schrifttum Nr. 23 lediglich zitiert, ohne jedoch inhaltlich bekannt gewesen zu sein. Schließlich hat auch Pien dieses Prinzip in einem späteren Vorschlag berücksichtigt [16]. Dieses System wird darum auch hier dem Linienentwurf zu Grunde gelegt. Einige weitere Ergänzungen haben sich inzwischen noch als wünschenswert erwiesen und auch die Bezeichnungsweise ist der Übersichtlichkeit wegen etwas schematischer gewählt worden. Das Prinzip und die Form wird darum hier noch einmal kurz dargestellt und erläutert.

Gebäuchliche Schiffsoberflächen und Schiffsquerschnittflächenverläufe (Spantflächenkurven) lassen sich immer aufbauen aus einer Anzahl auf ein Abszissenintervall A begrenzter Konturen, die durch ein Polynom mathematisch darstellbar sind, und einer weiteren Anzahl von Geradenstücken, die im allgemeinen Falle der Verbindung der vorerwähnten Konturstücke dienen. Konturstücke sind z. B. der Eintritt und der Austritt der Spantflächenkurve, der Eintritt und der Austritt von Wasserlinienfläche und Lateralplan, der Verlauf der Begrenzungen der ebenen Seiten- und Bodenflächen, die nicht linearen Spantkonturen und der Verlauf der Formparameter dieser Spantkonturen längs Eintritt und Austritt der Spantflächenkurve. Ordinate und Abszisse dieser Konturen $\eta(\xi)$ sind in Bild 1 definiert. Als Abszissenabstand A treten im Liniennriß dann die verschiedensten ausgezeichneten „Teillängen“ des Schiffskörpers, wie Eintritts- und Austrittslängen

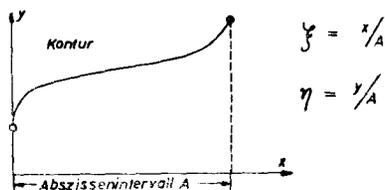


Bild 1

von Verdrängung (Spantflächenkurve), Wasserlinie usw. auf. Die Konturgleichung hat die symbolische Form (f = Formfaktor):

$$\eta_{ges}(\xi) = \sum f \cdot \eta(\xi) \quad (1)$$

mit

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

Der Index „ges“ dient, falls nötig, der Unterscheidung von Gesamt- und Einflußfunktion. Die Koeffizienten a der Einflußgleichungen $\eta(\xi)$ sind so zu wählen, daß ein Konturparameter,

der der Einflußgleichung den Namen gibt, zu 1 wird, während andere wohl definierte Konturparameter zu 0 werden. Durch die Anzahl dieser „Nullparameter“ ist der Grad der Einflußgleichung bestimmt. Alle anderen Parameter der Kontur können naturgemäß nicht festgelegt werden, sondern ergeben sich „zwanglos“. Je höher der Grad des verwendeten Polynoms ist, desto höher ist die Anzahl der Nullparameter und desto geringer ist die Zahl der zwanglosen Parameter bzw. umgekehrt. Der Übersicht dient eine symbolische Schreibweise für die Einflußfunktionen.

$$\begin{array}{l} \text{„Grad des Polynoms“} \cdot \text{„Eins-Parameter“} \\ \text{„Nullparameter“} \end{array} \quad (3)$$

z. B. $5 \cdot \eta_1$
 $\eta_0, \eta_0', \eta_0'', \eta_0''', \eta_1', \eta_1''$ ist die Kontur eines S-Schlages

5. Grades, mit verschwindenden 1. und 2. Ableitungen an den Grenzen 0 und 1 des Intervalls.

Tafel 1

Definition und Bezeichnung der Konturparameter
 Vergleich mit der Bezeichnung anderer Arbeiten

Mathem. Definition	Bezeichnung nach						
	Ab- kürzg. 1. 2.	Alef [1]	Thieme [20]	Völker [21]	Pien [26]	Taylor u. Gertler [5]	Benson TINA 1940
$\sqrt{2} \cdot r_0/A = a_{0,5}$	η_0	fehlt	ω	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
$(\eta)_{\xi=0}$	η_0	a	τ	0	1	$\eta_1 \cdot f$	$\eta_1 \cdot f$
$(d\eta/d\xi)_{\xi=0}$	η_0'	b	v	$\eta_1 \cdot \text{tg } \alpha_0$	0	$\eta_1 \cdot t$	$\eta_1 \cdot t$
$(d^2\eta/d\xi^2)_{\xi=0}$	η_0''	c	σ	$\eta_1 \cdot \theta_0$	---	---	---
$(d^3\eta/d\xi^3)_{\xi=0}$	η_0'''	---	---	---	---	---	---
und weiter bei Bedarf	---	---	---	---	---	---	---
$(\eta)_{\xi=0,5}$	$\eta_{0,5}$	---	ψ	---	---	---	---
$(d\eta/d\xi)_{\xi=0,5}$	$\eta'_{0,5}$	---	λ	---	---	---	---
und weiter nach Bedarf	---	---	-8,4027	---	---	---	---
$(\eta)_{\xi=1}$	η_1	r	θ	1	0	1	1
$(d\eta/d\xi)_{\xi=1}$	η_1'	s	μ	0	---	$\eta_0 \cdot t$	0
$(d^2\eta/d\xi^2)_{\xi=1}$	η_1''	t	ϱ	$\eta_1 \cdot \theta_1$	---	$\eta_1 \cdot n$	$\eta_1 \cdot a$
$(d^3\eta/d\xi^3)_{\xi=1}$	η_1'''	---	---	---	---	---	---
und weiter bei Bedarf	---	---	---	---	---	---	---
$\int_0^1 \eta d\xi$	ϵ_F	v	m_0	ϵ	$\eta_1 \cdot \varphi_a$	$\eta_0 \cdot \Phi$	$\eta_1 \cdot C_p$, $\eta_1 \cdot w$
$\int_0^1 \eta \xi d\xi$	ϵ_{M_0}	---	m_1	$\epsilon \cdot \gamma$	$\epsilon_F \cdot \xi_1$	$\eta_0 \cdot M$	---
$\int_0^1 \eta \xi^2 d\xi$	ϵ_{T_0}	---	m_2	---	---	---	---

Das Normale sind einfache Einflußfunktionen mit nur einem „Eins-Parameter“. Manchmal ist aber auch die Verwendung von „Mehr-Parameter“-Funktionen zweckmäßig, wo also im Symbol mehrere Parameter über dem Bruchstrich stehen. Dies kommt besonders dann in Frage, wenn gleichzeitig mehrere Parameter einer Kontur den Wert 1 haben sollen. Im allgemeinen aber sollen die Parameter einer Kontur einen von 1 verschiedenen Wert haben, so daß man einfache Einflußfunktionen verwendet, um in einfacher Weise die wichtigen Parameter der Kontur unabhängig voneinander variieren zu können.

Die verwendeten Konturparameter sind zum Teil Aufmaßparameter (mit der Aufmaßstelle als unterer Index), zum Teil Differentialparameter (mit der Stelle als unterem Index und Kopfstrichen für die Höhe der Ableitung) und außerdem Integralparameter (mit dem Symbol ihrer Bedeutung als unterer Index).

Tafel 2

Vergleich mit den Bezeichnungen der Konturparameter nach Weinblum. Zahlenbeispiele für einige Weinblum-Konturen

Syst. Bezeichn. dieser Arbeit	nach Weinblum [27]		Beispiele:	
	Bezeichnung	3-parametrische Grundform $\langle 2, 4, 6; \varphi; t \rangle$	4-parametrische Grundform $\langle 3, 4, 6, 8; 0,68; 2,127 \rangle$	4-parametrische Zusatzform $\Delta \langle 2, 3, 4, 6 \rangle$
ϱ_0	0	0	0	0
η_0	1	1	1	0
η_0'	0	0	0	0
η_0''	—	$-18 - \frac{3}{4}t + \frac{105}{4}\varphi$	0	2
η_0'''	—	0	-5,598	+ 64 3
η_1'	0	0	0	0
η_1	$-\eta_0 \cdot t$	t	+ 2,127	0
η_1''	—	$372 - 12t - \frac{105}{2} \cdot \varphi$	- 124,59	- 8 3
η_1'''	—	$1200 - 75t + 945 \cdot \varphi$	- 323,406	+ 104 3
ε_F	φ	φ	+ 0,68	0
ε_{M_0}	$S\eta$	$-\frac{1}{8} + \frac{1}{192}t + \frac{35}{64}\varphi$		
ε_{T_0}	$J\eta$	$-\frac{32}{315} + \frac{2}{315}t + \frac{1}{3}\varphi$		

In dem Parameter ϱ_0 , den man als Abrundung bei $\xi = 0$ bezeichnen kann, ist r_0 der wirkliche Krümmungsradius an der Stelle $\xi = 0$. Dieser und der größere Teil der anderen Konturparameter sind aus der früheren Arbeit [20] und [21] übernommen worden. Aus der Anwendung des Verfahrens hat sich inzwischen aber doch der Bedarf nach weiteren Parametern ergeben, so daß einmal noch alle anderen sonst noch vorgeschlagenen Parameter aufgeführt worden sind und zum anderen auch die sinngemäße Ergänzung offengelassen wird. Diese sinngemäße Ergänzung bezieht sich in erster Linie auf die Differentialparameter. Aus der sich so ergebenden großen Anzahl von Konturparametern (12, 14 oder noch mehr) soll aber nicht auf die Notwendigkeit von Polynomen entsprechend hoher Ordnung geschlossen werden. Man wird vielmehr je nach der Anwendungsart den einen oder anderen Parameter vorziehen. So ist z. B. die Verwendung von Integralparametern — besonders bei Vorhandensein eines Integrators im Büro — u. U. einfacher, um aus grafisch gegebenen Kurven die Formparameter zu bestimmen, aus denen dann rechnerisch wieder entsprechende Differentialparameter ermittelt werden können, wenn man eine bestimmte Ordnung des als ausreichend repräsentativ anzusehenden Polynoms festlegt. Für den Linienentwurf sind jedoch gerade die Differentialparameter viel besser zu gebrauchen, da sie schneller die eventuelle „Entartung“ von Kurven zu überblicken gestatten. Allerdings ist dabei auch in den wichtigen Fällen von Spantflächenkurve und Spantkurve der Integralparameter ε_F , die Völligkeit, von grundsätzlicher Entwurfsbedeutung. Auf die Bestimmung der Differentialparameter nach grafisch gegebenen Kurven wird später in Abschnitt C noch eingegangen werden.

Eine wichtige Ergänzung zur Aufstellung in Tafel 1 ist die Übersicht in Tafel 2, die den Vergleich mit den Bezeichnungen der Konturparameter nach Weinblum enthält. Während meist — wie auch in diesem Bericht — zur Kennzeichnung der Kontur durch Parameter Ordinate, Differential- und Integralwerte gewählt werden, geschieht es nach Weinblum auch durch die Exponenten des Polynoms.

Die systematische Kennzeichnung dieser Polynome erfolgt zunächst „familiär“ nach der Anzahl und dem Grad der Glieder und dann innerhalb der Familie nach der Völligkeit $\varphi = \varepsilon_F$ und der Anfangstangente $t = -\eta_1'$. Beispiele für dreigliedrige Grundpolynome sind $\langle 2, 4, 6 \rangle$, $\langle 4, 6, 8 \rangle$, $\langle 6, 8, 10 \rangle$ und $\langle 8, 10, 12 \rangle$, $\langle 2, 3, 4 \rangle$, $\langle 3, 4, 6 \rangle$. Beispiele für viergliedrige Grundpolynome sind $\langle 2, 4, 6, 8 \rangle$ und $\langle 3, 4, 6, 8 \rangle$. Beispiele für die in Tafel 3 auch aufgeführten Zusatzpolynome sind $\Delta \langle 2, 4, 6, 8 \rangle$, $\Delta \langle 4, 6, 8, 10 \rangle$, $\Delta \langle 6, 8, 10, 12 \rangle$ und $\Delta \langle 2, 3, 4, 6 \rangle$. In Sonderfällen — Kontur sehr hoher Völligkeit mit Krümmungsfreiheit an den Grenzen, $\eta_0' = \infty$ und $\eta_1' = 0$ — reichen diese Polynome jedoch nicht aus. Dann wird mit Vorteil von der Grammel-Funktion Gebrauch gemacht. Aus den in [6] genannten zahlreichen Möglichkeiten zur Verallgemeinerung der Kreisfunktionen erscheint zur Darstellung von derartigen extremen Konturen besonders die mit dem Exponenten 3 geeignet. Sie wird also im Bedarf als Zusatzfunktion zu verwenden sein.

$$\eta = \sqrt[3]{1 - (1 - \xi)^3}. \quad (4)$$

Die besondere Eigenschaft dieser Kontur ist:

$$\eta_0 = \eta_0'' = \eta_1' = \eta_1'' = 0; \quad \eta_1 = 1; \\ \eta_0' = \infty; \quad \varepsilon_F = 0,88325.$$

Tafel 3

Systematische Kennzeichnung der Konturgleichungen nach Weinblum.

Das Grundpolynom gibt immer $\eta_0 = 1; \eta_1 = \eta_1' = 0$.

Das Zusatzpolynom $\eta_1 = \eta_0 = \eta_1' = \eta_0' = 0; \varepsilon_F = 0$.

Mit $a_0 = a_{0,5} = 0$ lautet das Polynom:

$$\eta = 1 + a_{n_1} \xi^{n_1} + a_{n_2} \xi^{n_2} + a_{n_3} \xi^{n_3} + a_{n_4} \xi^{n_4}.$$

Symbolische Abkürzung:

$$\langle n_1, n_2, n_3, n_4; \varphi; t \rangle \text{ für die Grundpolynome,} \\ \Delta \langle n_1, n_2, n_3, n_4 \rangle \text{ für die Zusatzpolynome.}$$

In dieser Behandlung beziehen sich jedoch alle weiteren Ausführungen nur auf das eine Polynom der allgemeinen Form (1) u. (2), wie es im Prinzip bereits z. B. in [21] erörtert ist.

In Tafel 4 ist das für die Konturen verwendete Polynom mit seinen Ableitungen und Integralen, die für die Definition der Konturparameter gebraucht werden, dargestellt. Davon ausgehend sind auch die Beziehungen zwischen diesen Konturparametern und den Koeffizienten a der Polynomglieder in derselben symbolischen Schreibweise angegeben. Dabei ist der Exponent n eine ganze, positive Zahl und der zugehörige Koeffizient a_n eine beliebige, endliche Zahl. Tafel 4 ist auf die Konturparameter beschränkt worden, die bereits in Tafel 1 aufgeführt und definiert sind. Zu beachten ist, daß die Differentialparameter des Konturursprungs, also bei $\xi = 0$ für ebenfalls auch $a_{0,5} = 0$ definiert sind. Diese die Anschaulichkeit etwas einschränkende Bedingung muß aber gemacht werden, da anderenfalls bei Konturen mit Anfangsabrundung ϱ_0 die Differentialparameter an dieser Stelle sämtlich zu $|\infty|$ würden und so ihre anschauliche Bedeutung überhaupt verlieren würden.

Tafel 4

Grundpolynom mit Ableitungen und Integralen

$$\eta = a_0 + a_{0,5} \xi^{1/2} + \sum a_n \cdot \xi^n;$$

$$\frac{d\eta}{d\xi} = \frac{a_{0,5}}{2} \xi^{-1/2} + \sum n \cdot a_n \cdot \xi^{(n-1)};$$

$$\frac{d^2\eta}{d\xi^2} = -\frac{a_{0,5}}{4} \cdot \xi^{-3/2} + \sum (n^2 - n) \cdot a_n \cdot \xi^{(n-2)};$$

$$\frac{d^3\eta}{d\xi^3} = \frac{3}{8} a_{0,5} \cdot \xi^{-5/2} + \sum (n^3 - 3n^2 + 2n) \cdot a_n \cdot \xi^{(n-3)}.$$

$$\int_0^\xi \eta d\xi = a_0 \xi + \frac{2}{3} a_{0,5} \xi^{3/2} + \sum \frac{a_n}{n+1} \xi^{n+1};$$

$$\int_0^\xi \eta \xi d\xi = \frac{a_0}{2} \xi^2 + \frac{2}{5} a_{0,5} \xi^{5/2} + \sum \frac{a_n}{n+2} \xi^{n+2}$$

$$\int_0^\xi \eta \xi^2 d\xi = \frac{a_0}{3} \xi^3 + \frac{2}{7} a_{0,5} \xi^{7/2} + \sum \frac{a_n}{n+3} \xi^{n+3}$$

$$q_0 = a_{0,5} = \sqrt{\frac{r_0}{2} \cdot \frac{r_0}{A}}$$

(A ≡ Abszissenintervall
r₀ ≡ Krümmungsradius der Kontur bei ξ = 0)

$$\eta_0 = a_0; \quad \eta_0' = a_1; \quad \eta_0'' = 2 a_2; \quad \eta_0''' = 6 a_3$$

$$\eta_{0,5} = a_0 + \sqrt{\frac{1}{2}} a_{0,5} + \sum 0,5^n \cdot a_n$$

$$\eta_{0,5}' = \sqrt{\frac{1}{2}} a_{0,5} + \sum 0,5^{(n-1)} \cdot n \cdot a_n$$

$$\eta_1 = a_0 + a_{0,5} + \sum a_n$$

$$\eta_1' = \frac{a_{0,5}}{2} + \sum n \cdot a_n$$

$$\eta_1'' = -\frac{a_{0,5}}{4} + \sum (n^2 - n) \cdot a_n$$

$$\eta_1''' = \frac{3}{8} a_{0,5} + \sum (n^3 - 3n^2 + 2n) \cdot a_n$$

$$\epsilon_F = a_0 + \frac{2}{3} a_{0,5} + \sum \frac{a_n}{n+1}$$

$$\epsilon_{M_0} = \frac{a_0}{2} + \frac{2}{5} a_{0,5} + \sum \frac{a_n}{n+2}$$

$$\epsilon_{T_0} = \frac{a_0}{3} + \frac{2}{7} a_{0,5} + \sum \frac{a_n}{n+3}$$

Der Grad des Polynoms η(ξ) nach Tafel 4, der für eine Einflußgleichung η = η_e oder auch für eine vollständige Kontur η = η_{ges} anzusetzen ist, ergibt sich entsprechend (5) aus der Anzahl der vorzuschreibenden Konturparameter.

Grad des Polynoms = Anzahl der vorgeschriebenen Parameter ohne Anrechnung von q₀ und η₀. (5)

In (1) ist bereits angedeutet, daß sich die Gesamtfunktion als Summe der mit den einzelnen Formfaktoren multiplizierten Einflußfunktionen ergibt. Das gleiche gilt entsprechend auch für die Konturparameter der gesamten Kontur, die sich aus der Summierung der Produkte von Formfaktoren und Konturparametern der Einflußfunktionen ergeben. Dies ist in (6) angedeutet. Die Formfaktoren selbst werden entsprechend den Anforderungen an die Gesamtkontur gewählt.

$$\left. \begin{aligned} \eta_{ges} &= \sum f_e \cdot \eta_e \\ q_{0, ges} &= \sum f_e \cdot q_{0, e}; \quad \eta_{0, ges} = \sum f_e \cdot \eta_{0, e} \\ \eta_{0, ges}' &= \sum f_e \cdot \eta_{0, e}'; \quad \eta_{0, ges}'' = \sum f_e \cdot \eta_{0, e}'' \\ &\text{usw.} \end{aligned} \right\} (6)$$

C. Analyse gestrahter Konturen

Wenngleich diese Arbeit speziell auf den Entwurf von Schiffslinien gerichtet ist, so ist doch, wie bereits in der Einleitung genannt, die Analyse von grafisch vorgegebenen Konturen von so großer Bedeutung für die Brauchbarkeit von mathematischen Schiffsliniensystemen, daß hier noch dazu einige Angaben gemacht werden sollen. Solche Angaben sind in sehr knapper Form bereits in [20] und [21] gemacht worden; sie sollen hier etwas eingehender dargestellt und entsprechend der größeren Anzahl von in Betracht gezogenen Parametern noch erweitert werden.

Die zu analysierende Schiffsform kann immer durch eine Reihe von Schiffslinien (Konturen) dargestellt werden, deren Aufmaße als die einer im Intervall A gegebenen Funktion anzusehen sind. Ordinaten und Abszissen dieser Kontur können mittels des Abszissenintervalls A also in bereits besprochener Weise als η(ξ) im Bereich 0 ≤ ξ ≤ 1 entnommen werden. Diese Kontur sei nun beliebig grafisch gegeben. Es werden daraus dann die in Tafel 1 aufgeführten und definierten Konturparameter gewonnen. Steht ein Integrator zur Verfügung, so sind in einem Arbeitsgang die Integralparameter ε_F, ε_{M₀}, ε_{T₀} aus den Ablesungen an der Flächenrolle, der 1. und der 2. Momentenrolle zu gewinnen. Steht nur ein einfaches Planimeter zur Verfügung, so ergibt sich ε_F aus der Umfahrung der Funktion η(ξ), ε_{M₀} ergibt sich aus der Umfahrung der Hilfskurve η · ξ(ξ) und ε_{T₀} ergibt sich aus der Umfahrung der weiteren Hilfskurve η · ξ²(ξ). Die mit zu den Konturparametern gezählten Ordinaten η₀, η_{0,5} und η₁ ergeben sich natürlich einfach als die Aufmaße an den betreffenden Stellen der zu analysierenden Funktion.

Für die Bestimmung der Differentialparameter macht man die an anderer Stelle schon oft und überzeugend diskutierte Voraussetzung, daß jede derartige Kontur sich mit ausreichender Genauigkeit durch ein Polynom wie (2) darstellen läßt [1]. In (7) ist dieses Polynom unter Eintragung der für ξ = 0 zu bestimmenden Konturparameter noch einmal angeschrieben.

$$\eta = \eta_0 + q_0 \sqrt{\xi} + \eta_0' \xi + \frac{\eta_0''}{2} \xi^2 + \frac{\eta_0'''}{6} \xi^3 \dots (7)$$

Der Wert dieser Funktion an der Stelle ξ = 0 ergibt wie erwähnt den Konturparameter η₀. Zieht man diesen Parameter von allen Aufmaßen der Kontur ab und dividiert das Ergebnis durch √ξ, so erhält man in (8)

$$\frac{\eta - \eta_0}{\sqrt{\xi}} = q_0 + \eta_0' \sqrt{\xi} + \frac{\eta_0''}{2} \cdot \xi^{3/2} + \frac{\eta_0'''}{6} \cdot \xi^{5/2} \dots (8)$$

eine veränderte Funktion, die — grafisch auf ξ = 0 ausgestraht — dort den Wert q₀ besitzt, womit ein weiterer Konturparameter gewonnen ist.

Dieses q₀ zieht man nun wieder von den Aufmaßen der Auftragung entspr. der Gleichung (8) ab und dividiert das Ergebnis durch √ξ; so erhält man in (9) eine weitere veränderte Funktion, die wieder grafisch auf ξ = 0 ausgestraht dort den Wert des Parameters η₀' besitzt.

$$\frac{(\eta - \eta_0) / \sqrt{\xi} - q_0}{\sqrt{\xi}} = \eta_0' + \frac{\eta_0''}{2} \cdot \xi + \frac{\eta_0'''}{6} \cdot \xi^2 + \dots (9)$$

Zieht man diesen Wert wieder von den Aufmaßen der Auftragung nach (9) ab und dividiert die Differenz durch ξ, so erhält man noch wieder eine veränderte Funktion,

$$\frac{(\eta - \eta_0) / \sqrt{\xi} - q_0 - \eta_0'}{\xi} = \frac{\eta_0''}{2} + \frac{\eta_0'''}{6} \cdot \xi + \frac{\eta_0''''}{24} \cdot \xi^2 + \dots (10)$$

deren durch grafisches Ausstrahlen auf ξ = 0 zu bestimmender Wert gleich der Hälfte des Konturparameters η₀'' ist. Die Be-

stimmung der Differentialparameter höherer Ordnung erfolgt nun weiter in völlig gleichartiger Weise. In (11) ist noch die Bestimmungsgleichung für η_0'''' angegeben.

$$\frac{[(\eta - \eta_0) / \sqrt{\xi - \xi_0}] / \sqrt{\xi - \xi_0}}{\xi} = \frac{\eta_0''}{2} + \frac{\eta_0''''}{24} \cdot \xi + \dots \quad (11)$$

Zur Bestimmung der Differentialparameter bei $\xi = 1$ formuliert man das die grafisch gegebene Kontur repräsentierende Polynom in der Form (12),

$$\eta = \eta_1 - \eta_1' (1 - \xi) + \frac{\eta_1''}{2} (1 - \xi)^2 - \frac{\eta_1'''}{6} (1 - \xi)^3 + \dots \quad (12)$$

Das Aufmaß an der Stelle $\xi = 1$ ist natürlich der Konturparameter η_1 . Zieht man diesen wieder von den Aufmaßen ab und dividiert die Differenz durch $(1 - \xi)$, so erhält man in (13) eine veränderte Funktion, deren auf $(1 - \xi) = 0$ ausgestrakter Wert den negativen Wert des Konturparameters η_1' ergibt. Mit sinngemäß den entsprechenden Funktionsumwandlungen und den entsprechenden grafischen Auftragungen erhält man die weiteren Differentialparameter für die Stelle $(1 - \xi) = 0$ als $\xi = 1$. Die Funktionsformen für die Bestimmung von η_1'' und η_1''' sind in (14) und (15) noch angegeben.

$$\frac{\eta - \eta_1}{1 - \xi} = -\eta_1' + \frac{\eta_1''}{2} (1 - \xi) - \frac{\eta_1'''}{6} (1 - \xi)^2 + \dots \quad (13)$$

$$\frac{\eta - \eta_1}{1 - \xi} + \eta_1' = \frac{\eta_1''}{2} - \frac{\eta_1'''}{6} (1 - \xi) + \frac{\eta_1''''}{24} (1 - \xi)^2 - \dots \quad (14)$$

$$\frac{\eta - \eta_1}{1 - \xi} + \eta_1' - \frac{\eta_1''}{2} = -\frac{\eta_1'''}{6} + \frac{\eta_1''''}{24} (1 - \xi) - \dots \quad (15)$$

Zur Bestimmung der Konturparameter bei $\xi = 0,5$ werden zu (12) bis (15) analoge Funktionsumwandlungen benützt. Lediglich ist an Stelle der Zahl 1 immer die Zahl 0,5 einzuführen. Nähere Ausführungen dazu erübrigen sich daher. In (16) und (17) sind die ersten beiden Schritte zur Gewinnung von $\eta_{0,5}'$ nach abgelesenen $\eta_{0,5}$ angegeben.

$$\eta = \eta_{0,5} - \eta_{0,5}' (0,5 - \xi) + \frac{\eta_{0,5}''}{2} (0,5 - \xi)^2 - \frac{\eta_{0,5}'''}{6} (0,5 - \xi)^3 + \dots \quad (16)$$

$$\frac{\eta - \eta_{0,5}}{0,5 - \xi} = -\eta_{0,5}' + \frac{\eta_{0,5}''}{2} (0,5 - \xi) - \frac{\eta_{0,5}'''}{6} (0,5 - \xi)^2 + \dots \quad (17)$$

Ebenso wie das in Tafel 1 angegebene System der Konturparameter keineswegs auf die dort angegebenen Aufmaßstellen $\xi = 0$ und $0,5$ und 1 beschränkt zu werden braucht, sondern noch beliebige Ableitungen an beliebigen Stellen zwischen 0 und 1 als Parameter zweckmäßig sein können, ist natürlich auch deren grafisch-analytische Bestimmung nach dem vorstehend angegebenen Verfahren ohne weiteres möglich. Damit ist also hier ein Verfahren zur Darstellung der Konturen bereitgestellt, das nicht nur beliebige schiffbauliche Formen neu zu entwerfen gestattet, sondern das auch die Analyse vorgegebener derartiger Konturen in gleicher Weise ermöglicht.

D. Hauptabmessungen und Hauptformgrößen der Verdrängung

Die Beschreibung eines Schiffskörpers durch eine Reihe von Abmessungen, Abmessungsverhältnissen, dimensionslosen Flächen- und Volumenverhältnissen usw. findet sich praktisch bei jeder schiffbaulichen Arbeit, die auf ein Schiff als Ganzes gerichtet ist. Nennen wir Länge, Breite, Tiefgang und Volumen-Verdrängung die Hauptabmessungen L, B, T, V , so sind alle übrigen der Beschreibung des Unterwasserschiffes dienenden Zahlenangaben die Formgrößen. Je nach dem Ziel des zu behandelnden schiffbaulichen Themas werden dazu für ein bestimmtes Schiff mehr oder weniger viele Formgrößen angegeben. Die Angaben, die man im Schrifttum hierzu im allgemeinen finden kann, besonders in [18] seien hier Hauptformgrößen genannt. Sie geben schon ein recht gutes Bild über die Form des Schiffes, wengleich sie noch keineswegs geeignet sind, danach einen eindeutigen Linienriß eines solchen Schiffes zu rekonstruieren. Zu diesem Zweck, und das ist der Zweck dieser Arbeit unter anderem, werden noch viele weitere Formgrößen gebraucht, die einem früheren Gebrauch folgend hier wieder Formparameter genannt werden sollen. Während sich die Hauptformgrößen überwiegend auf das Unterwasserschiff als Ganzes beziehen, werden die Formparameter immer nur für einzelne Teile angegeben. Diese Einteilung des Schiffskörpers muß notwendigerweise erfolgen, um den Schiffskörper von Normalform — also mit Geradenstücken und Unstetigkeiten in der Kontur — mathematisch durch Polynom-Konturen einwandfrei darstellen zu können. Hierdurch ergibt es sich in natürlicher Weise, daß die Formparameter die Konturparameter der jeweiligen Schiffsteile sind. Der formale Übergang vom Konturparameter zum Formparameter, die sich im Zeichen nur durch die Indizes unterscheiden, ist allein durch die — an sich weitgehend freie — Wahl des einzelnen Koordinatensprungs an jedem Schiffsteil bedingt, hierzu Bild 2.

Bezeichnungen am Unterwasserschiff

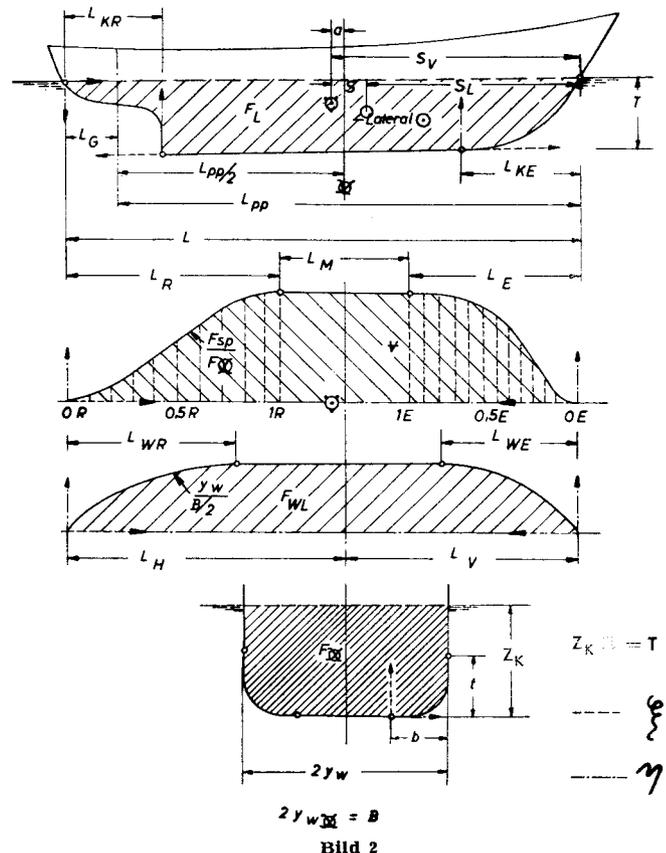


Bild 2

Die wichtigsten der die Form der einzelnen Teile kennzeichnenden Formparameter sollen jedoch unabhängig von ihrer Bedeutung für die betreffenden Teile zugleich auch als Hauptformgrößen mit gezählt werden, wie es ja auch bereits in dem schon relativ weitgehenden Verzeichnis der SNAME [18] geschieht. Hierdurch ist die Weiterführung von den Hauptformgrößen zu den Formparametern auch besonders naheliegend.

Grundsätzliche Bemerkungen über die Gesichtspunkte für die Wahl der Hauptabmessungen gehören nicht mehr zum Linienentwurf im engeren Sinne; sie ergeben sich als Kompromiß aus den Forderungen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Leistungsfähigkeit und Eigenschaften des Schiffes.

Mit den Hauptabmessungen sind bereits einige der Hauptformgrößen festgelegt. Diese und die weiteren, deren Festlegung bereits zur speziellen Aufgabe des Linienentwurfes zu zählen ist, sind tabellarisch in Tafel 5 zusammengestellt.

Neben der dort angegebenen Benennung gibt Bild 2 die bildliche Erläuterung. Aus der in Bild 2 gezeigten Unterteilung des Schiffskörpers ergibt sich folgerichtig auch das Schema der Spant- und Wasserlinieneinteilung für den Linienentwurf, wie es übrigens bereits von Todd in [23] eingeführt worden ist. An Stelle der als Spantraster dezimal — oder enger — geteilten Länge zwischen den Loten erfolgen die dezimalen Teilungen getrennt für die Eintrittslänge L_E , die Mittelschiffslänge L_M und die Auslauflänge (Run-Länge) L_R . Entsprechend ergibt sich das Wasserlinienraster — bereits allgemein gebräuchlich — als dezimale Unterteilung des Tiefgangs T . Tafel 5 enthält für alle Hauptformgrößen auch den Vergleich mit den von der S.N.A.M.E. [18] gebrauchten Symbolen. Die hier gebrauchten Symbole sind entstanden aus dem Bestreben, bereits gebräuchliche Zeichen beizubehalten, im Hinblick auf die der S.N.A.M.E. Verwechslungen auszuschließen und sich diesen weitgehend zu nähern. So ist z. B. zur Vermeidung von Verwechslungen mit der englisch-amerikanischen Bezeichnung

Tafel 5 Hauptformgrößen eines Unterwasserschiffes

In () gesetzte Größen ergeben sich zwangsläufig aus den vorher aufgeführten Größen. Reihenfolge nach Entwurfsgang und Bedeutung. Vgl. auch Bild 2.

Benennung	Symbol	Hinweis für Auswahl bzw. Umrechnung	Symbol der S.N.A.M.E. Einschr.	Mehrschr.
Längen-Breiten-Verhältnis	L_{WL}/B		$\frac{L_{LWL}}{L} \cdot \frac{L}{B_X}$	L/B_X
Breiten-Tiefgangs-Verhältnis	B/T			B_X/H
Gesamt-Abmessungsverhältnis	$\left(\frac{1}{1 + \frac{L_{WL}}{B} + \frac{L_{WL}}{2T}} \right)$	(18), Bild 3		—
Quer-Abmessungsverhältnis	$\left(\frac{1}{1 + B/2T} \right)$	(19), Bild 3		—
Völligkeit	δ		$\frac{L}{L_{LWL}} \cdot C_B$	C_B
Schlankheitsgrad	$(L_{WL}/v^{1/3})$	(22)	$\frac{L_{LWL}}{L} \cdot \frac{L}{\nabla^{1/3}}$	$\frac{L}{\nabla^{1/3}}$
Längenschärfegrad	φ	(23)/(25), Bild 4	$\frac{L}{L_{LWL}} \cdot C_P$	C_P
Hauptspantvölligkeit	(β)	(25)/(27), Bild 4		C_X
Längenschärfegrad der Enden	φ_0	(28)/(30), Bild 5		—
Längenanteil der Enden	(L_0/L_{WL})	(31)		—
Längenschärfegrad des Eintritts	φ_E	(32), (34), Bild 6		C_{PE}
Längenschärfegrad des Austritts	φ_R	(33), (35), Bild 6	$2 \cdot \frac{C_{PR}}{L_{LWL}} - 1$	C_{PR}
Endanteil des Eintritts	(L_E/L_0)	(36), (38)		—
Endanteil des Austritts	(L_R/L_0)	(37)		—
Relative Lage des Verdr.-Schwerpunktes des Eintritts hinter VP	(γ_E)	Bild 7		—
Relative Lage des Verdr.-Schwerpunktes des Austritts vor HP	(γ_A)	Bild 7		—
Relative Lage des Verdr.-Schwerpunktes hinter VP	(s_V/L_{WL})	(39)	$\frac{L_{LWL}}{L} \cdot LCB$	LCB

für die Hinterschiffslänge L_A für die Länge des Auslaufs die englisch-amerikanische Bezeichnung L_R übernommen worden.

Zum Vergleich mit den Symbolen der S. N. A. M. E. sind getrennte Spalten für Einschrauber und für Mehrschrauber angegeben. Dies ist notwendig, da die S. N. A. M. E. leider — wenn auch nicht die Vorschrift — so doch die Empfehlung gibt, als Bezugs-Schiffslänge im ersten Falle die Länge zwischen den Loten und im zweiten Falle die Länge in der Wasserlinie zu benutzen. Daß im Falle allgemeiner normaler Schiffsformen keine dieser Längen bei keiner dieser Schiffsarten die hydrodynamisch „richtige“ sein kann, geht schon daraus hervor, daß die wellenbildende Länge eine andere ist als die Momentenlänge für die Bewegungen um die Querachse und diese eine andere als die Momentenlänge für die Bewegungen um die Hochachse ist. Für eine mathematische Darstellung der Schiffsoberfläche ohnehin, aber auch bereits für die Beschränkung auf die mathematische Darstellung der Spantflächenkurve allein, kann ein exaktes Verfahren ohne unnötige Komplizierungen nur auf der Länge in der Wasserlinie aufgebaut werden. Allein diese Länge wird daher hier als Bezug verwendet. Im eigentlichen Linientwurf tritt daher weder der Begriff der Länge zwischen den Loten noch damit eng verbunden der Begriff des Hauptspants sowie von Vorschiffslänge und Hinterschiffslänge auf. Erst später wird man diese Größen für die Bedürfnisse von Ruderentwurf, Konstruktion und Beladung einführen.

Soweit bei der Diskussion der in Tafel 5 zusammengestellten Hauptformgrößen Auswahlregeln und Umrechnungsformeln nützlich erscheinen, wird in der Tabelle in gesonderter Spalte ein entsprechender Formelhinweis gegeben.

In Tafel 5 sind als Analogon zum Längen-Breiten-Verhältnis und zum Breiten-Tiefgangs-Verhältnis noch zwei weitere — zwar nicht unbedingt notwendig, systematisch aber u. U. recht nützliche — Verhältnisse angegeben [18] und [19].

$$1 + \frac{L_{WL}}{B} + \frac{L_{WL}}{2T} = \frac{1}{1 + \frac{L_{WL}}{B} \left(1 + \frac{B}{2T}\right)} = \frac{B \cdot 2T}{B \cdot 2T + L_{WL} \cdot B + L_{WL} \cdot 2T} \quad (18)$$

$$1 + \frac{B}{2T} = \frac{L_{WL} \cdot 2T}{L_{WL} \cdot 2T + L_{WL} \cdot B} \quad (19)$$

Diese stellen Vereinfachungen der in [20] und [21] formulierten Flächenverhältnisse dar. Während in [20] die doppelte Hauptspantfläche zur Summe aus Wasserlinienfläche, doppelter Lateral- und Hauptspantfläche ins Verhältnis gesetzt ist, gibt (18) in einfacherer Formulierung nur das Verhältnis der entsprechenden umschriebenen Rechtecke und kann also aus den Hauptabmessungen allein gebildet werden.

$$2 \cdot F_{\text{H}} + 2 \cdot F_{\text{L}} + F_{\text{WL}} = \frac{1}{1 + \frac{\tau}{\beta} \frac{L_{WL}}{B} + \frac{\alpha}{\beta} \frac{L_{WL}}{2T}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta} \cdot \frac{L_{WL}}{B} \left(\tau + \alpha \frac{B}{2T} \right)} \quad (20)$$

$$\frac{2 \cdot F_{\text{L}}}{2 \cdot F_{\text{L}} + F_{\text{WL}}} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{\tau} \frac{B}{2T}} \quad (21)$$

Entsprechendes gilt für das in (19) etwas abweichend vom Normalen definierte Breiten-Tiefgangsverhältnis, das in (21) wiederum mit den entsprechenden Flächen gebildet ist.

Für statistische Untersuchungen über den Einfluß der Schiffsabmessungen auf den Widerstand sind die Formulierungen (18) bis (21) gegenüber den üblichen L_{WL}/B und B/T darum vorteilhaft, weil sie einmal den ganzen Bereich der denkbaren Strömungskörperformen des Schiffes, der vom zweidimensionalen Wasserlinienprofil über normale dreidimensionale Formen bis zum zweidimensionalen Lateralprofil reicht, zu erfassen gestattet, ohne andere Formulierungen gebrauchen zu müssen und andererseits den Bereich auf die Zahlenwerte von 0 bis 1 reduziert und so die grafische Wiedergabe von Ergebnissen sehr erleichtert; siehe hierzu die Darstellung in Bild 3. Außerdem aber hat die Darstellung auch

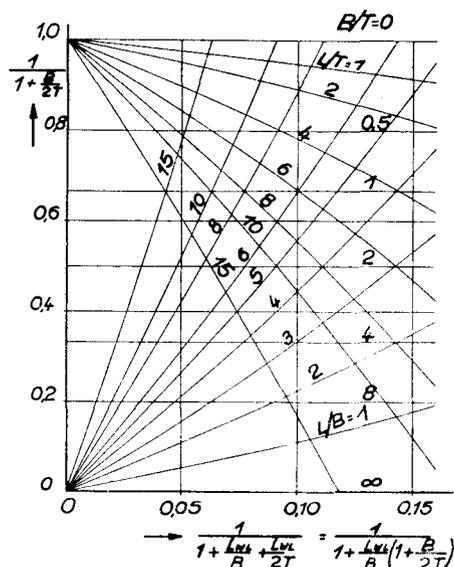


Bild 3

noch die physikalisch richtige Tendenz, daß die Größe des Wertes von (18) bzw. (20) qualitativ etwa gleichlaufend mit der größten Übergeschwindigkeit am Rumpf ist und damit also auch — abgesehen von Interferenzen — mit dem Wellenwiderstand und dem auf die Oberfläche bezogenen Reibungswiderstand. Dieser Vorzug der neuen Formulierungen berechtigt also wohl ihre Verwendung zum gegebenen Zweck.

$$\frac{L_{WL}}{v^{1/3}} = \sqrt[3]{\frac{1}{\delta} \frac{B}{T} \left(\frac{L_{WL}}{B} \right)^2} \quad (22)$$

$$\varphi \geq \delta; \quad 0,5 \leq \varphi \leq 1. \quad (23)$$

Die für die Verhältniszahlen (18) und (20) genannten Vorzüge in der Tendenz ihrer physikalischen Bedeutung treffen für den oft und gern gebrauchten Schlankheitsgrad $L/v^{1/3}$ (22) leider gar nicht zu. Dies erhellt sofort aus der Betrachtung der beiden formgeometrischen Grenzwerte eines Schiffes von gegebener Länge und Verdrängung. Diese Grenzwerte sind der zweidimensionale Fall des Schiffes mit relativ unendlichem Tiefgang bzw. mit relativ unendlicher Breite. Diesen Grenzwerten entsprechen Minima an Übergeschwindigkeit und Wellenwiderstand. Der Wert $L/v^{1/3}$ ist jedoch der gleiche wie bei normalem B/T -Verhältnis des Schiffes, bei dem höhere Werte auftreten.

Für die Wahl des Längenschärfegrades φ , abhängig von der Völligkeit δ , besteht mit Rücksicht auf die Vermeidungen von Entartungen im Hauptspant (überdick) und in der Spantflächenkurve (überdünn) in natürlicher Weise durch (23) eine gewisse Einschränkung, die aber eben eigentlich eine Selbst-

verständlichkeit ist. Ein formsystematischer Zusammenhang $\varphi(\delta)$ ist durch (24) und Bild 4 gegeben. Diese Formulierung entspricht auch der grafischen Darstellung, die Völker gebraucht [26]. Einige Werte der Konstanten $C_{\varphi(\delta)}$ sind in (25) für einige Typfamilien angegeben. Die geringen Unterschiede in den Zahlenwerten deuten auf die Zweckmäßigkeit der Formulierung (24) hin.

$$C_{\varphi(\delta)} = \frac{1 - \varphi}{1 - \delta} ; \quad \varphi = 1 - C_{\varphi(\delta)} (1 - \delta) . \quad (24)$$

Werte von $C_{\varphi(\delta)}$ für:

Quader	1	} (25)
Ellipsoid $1/(3 - \pi/2)$	0,7	
TMB Series 60	0,966 bis 0,977	
SSP Tankermodelle 500	0,97 bis 0,98	
J.f.S.-Entwurf	0,97	
Völker-Vorschlag	0,952	
van Lammeren	0,952 bis 0,962	
Heckscher	0,94 bis 0,96	

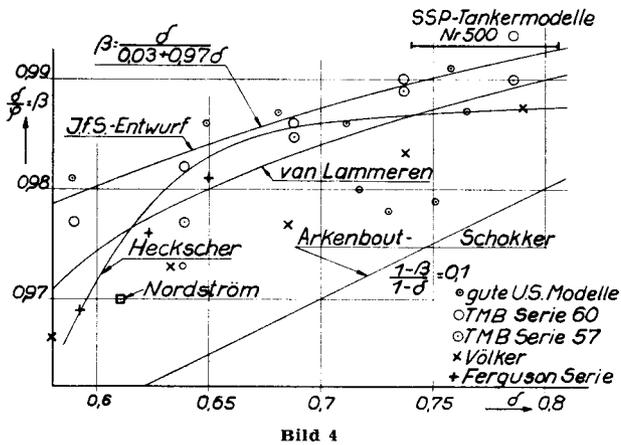


Bild 4

Mit der Wahl von φ ergibt sich natürlich zwangsläufig die Hauptspantvölligkeit. Für diese lauten die Grenzbedingungen zur Vermeidung von Entartungen nach (26); und aus (24) ergibt sich mit $\beta = \delta / \varphi$ die Formulierung (27), wobei wieder die Konstanten entsprechend (25) oder nach Bild 4 auszuwählen sind

$$\beta \leq 2 \delta ; \quad \beta \leq 1 \quad (26)$$

$$\beta = \frac{\delta}{1 - C_{\varphi(\delta)} \cdot (1 - \delta)} \quad (27)$$

Mit (27) sind die formsystematischen Angaben für die Wahl der Hauptabmessungen abgeschlossen. Eine weitere Kennzeichnung der Schiffsform beschreibt nun nicht mehr den Körper als Ganzes, sondern die Abmessungen und Formen seiner charakteristischen Teile. Diese Angaben sollen mit zu den Hauptformgrößen gezählt werden. Die Lage des Verdrängungsschwerpunktes des gesamten Schiffes kann zwar auch als eine Hauptabmessung angesehen werden, sie ergibt sich aber bei systematischer Entwicklung der Form als Ergebnis der Festlegung einer Reihe von weiteren Formgrößen der Schiffsteile, so daß sie erst danach hier aufgeführt werden soll. Will man dies nicht tun und die Schwerpunktlage von vornherein mit gleichem Schwerkörper wie die Verdrängung festlegen, so bedeutet das, daß die Hauptformgrößen erst nach Festlegung des Funktionscharakters der Spantflächenkurve angegeben werden können, was systematisch aber unübersichtlich ist und den Formvergleich verschiedener Schiffe sehr erschwert.

Die naheliegende und daher schon lange gebräuchliche Art der Unterteilung des Schiffes zur Formulierung weiterer, die Form intensiver kennzeichnenden Formgrößen ist die in Vor-

schiff und Hinterschiff bzw. Mittelschiff und Schiffsenden. Die Einteilung in Vor- und Hinterschiff zu je gleicher Länge ist für die mathematische Darstellung der Form völlig überflüssig und formsystematisch höchst problematisch, insbesondere solange die Definition der in zwei gleiche Teile zu teilenden „Länge“ des Schiffes mit der heute noch immer üblichen Willkür behaftet ist. Darum wird hier nur die Unterteilung in das parallele Mittelschiff L_M und die Schiffsenden von der Länge $L_0 = L_E + L_R$ betrachtet. Die Betrachtung der Endlänge L_0 und des auf sie bezogenen Längenschärfegrades der Enden φ_0 findet sich bei Völker [26] und erscheint wegen ihrer weiterführenden Bedeutung viel sinnvoller als die Verwendung der Länge des parallelen Mittelschiffes, die heute noch meist üblich ist. Mit v_0 als Verdrängung der Enden und F_{Σ} als Hauptspantfläche ist φ_0 definiert.

$$\varphi_0 = v_0 / (L_0 \cdot F_{\Sigma}) .$$

Die Formulierung des Längenschärfegrades der Enden φ_0 abhängig vom Längenschärfegrad des ganzen Schiffes φ ergibt sich aus dem Ansatz einer linearen Abhängigkeit im Bereich zwischen $\varphi_{0\varphi}$, bei dem das parallele Mittelschiff verschwindet und also $\varphi = \varphi_0$ wird, und φ_{01} , dem Endwert für $\varphi = 1$. Eine derartige, in (28) angeschriebene Abhängigkeit wird zugleich auch den Verhältnissen untersuchter Modellfamilien recht gut gerecht, wie aus Bild 5 ersehen werden kann.

$$\varphi_0 = \varphi_{0\varphi} + \frac{\varphi_{01} - \varphi_{0\varphi}}{1 - \varphi_{0\varphi}} (\varphi - \varphi_{0\varphi}) . \quad (28)$$

$$\varphi_{01} = \frac{\varphi_0 - \varphi_{0\varphi}}{\varphi - \varphi_{0\varphi}} (1 - \varphi_{0\varphi}) + \varphi_{0\varphi} \quad (29)$$

Der Wert $\varphi_{0\varphi}$, unterhalb dessen kein paralleles Mittelschiff mehr angewendet wird, liegt bei den meisten Serien bei 0,6. Der andere Grenzwert von φ_0 , der erst bei einem φ von 1 erreicht wird und mit φ_{01} bezeichnet ist, kann nach Beispielen dann leicht mit (29) bestimmt werden. Er liegt meist zwischen 0,7 und 0,8. Für die „Linie“ dieses Berichtes ist er zu 0,75 gewählt, was mit dem Mittelwert der Vorschlagsreihe von Völker [26] sehr gut übereinstimmt. Da als $\varphi_{0\varphi}$ für die „Linie“ dieses Berichtes auch 0,6 gewählt wird, ergibt sich mit diesen Zahlenwerten nach (28) die Beziehung (30) für die gesuchte Abhängigkeit, die auch in Bild 5 eingetragen ist.

$$\frac{\varphi_0}{\varphi} = 1,375 - 0,625 \cdot \varphi \quad (30)$$

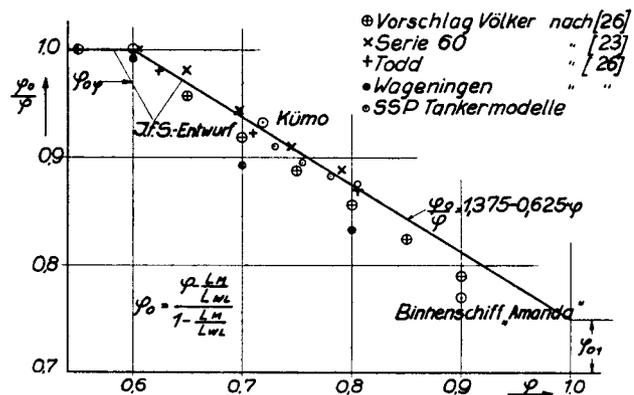


Bild 5

Damit ergibt sich nun auch zwangsläufig der Längenanteil der Enden L_0/L_{WL} nach (31), der ja durch $L_0/L_{WL} = 1 - L_M/L_{WL}$ mit dem Längenanteil des Mittelschiffes verknüpft ist.

$$\frac{L_0}{L_{WL}} = \frac{1 - \varphi}{1 - \varphi_0} ; \varphi_0 = \frac{\varphi - L_M/L_{WL}}{1 - L_M/L_{WL}} = 1 - \frac{1 - \varphi}{L_0/L_{WL}} \quad (31)$$

Die Einführung des Längenschärfegrades der Enden φ_0 erweist sich als recht nützlich, wenn in formsystematisch sinnvoller Weise die Schärfgrade für Eintritt und Austritt φ_E und φ_R festzulegen sind. Im Hinblick auf vorliegende systematische Serien wie auch mit Rücksicht auf möglichst einfache Formulierung geht man dabei von φ_{0E} und dem Schärfegrad φ_{ER0} aus, bei dem $\varphi_E = \varphi_R = \varphi_0 = \varphi_{ER0}$ sein würde, und führt

lineare Abhängigkeiten $\frac{\varphi_E}{\varphi_0}(\varphi_0)$ und $\frac{\varphi_R}{\varphi_0}(\varphi_0)$ ein, die im Hinblick auf Bild 6 gerechtfertigt erscheinen mögen.

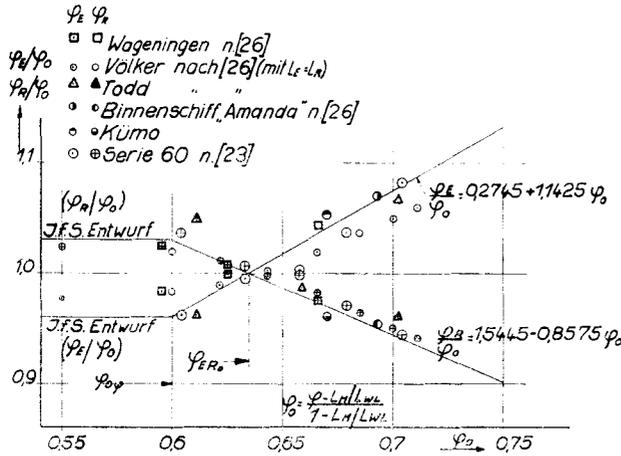


Bild 6

Die im Bild (6) eingetragene Entwurfslinie entspricht unterhalb von φ_{0E} den konstanten Verhältnissen $(\varphi_E/\varphi_0)_0$ und $(\varphi_R/\varphi_0)_0$ und oberhalb von φ_{0R} den allgemeinen in (32) und (33) formulierten Verläufen, die mit den Werten der eingetragenen Linien die Beziehungen (34) und (35) ergeben.

$$\frac{\varphi_E}{\varphi_0} = \left(\frac{\varphi_E}{\varphi_0} \right)_0 + \frac{1 - (\varphi_E/\varphi_0)_0}{\varphi_{ER0} - \varphi_{0E}} (\varphi_0 - \varphi_{0E}) \quad (32)$$

$$\frac{\varphi_R}{\varphi_0} = \left(\frac{\varphi_R}{\varphi_0} \right)_0 + \frac{1 - (\varphi_R/\varphi_0)_0}{\varphi_{ER0} - \varphi_{0R}} (\varphi_0 - \varphi_{0R}) \quad (33)$$

$$\text{Für JfS-Entwurf } \frac{\varphi_E}{\varphi_0} = 0.2745 + 1.1425 \cdot \varphi_0 \quad (34)$$

$$\text{Für JfS-Entwurf } \frac{\varphi_R}{\varphi_0} = 1.5445 - 0.8575 \cdot \varphi_0 \quad (35)$$

Nachdem so die Schärfgrade von Eintritt und Austritt festgelegt werden können, ergeben sich die entsprechenden Längenteile L_E/L_0 und L_R/L_0 zwangsläufig nach (36) und (37) bzw. mit den Zahlenwerten für den JfS-Entwurf nach (38).

$$\frac{L_E}{L_0} = \frac{1 - \varphi_R/\varphi_0}{\varphi_E/\varphi_0 - \varphi_R/\varphi_0} \quad (36)$$

$$\frac{L_R}{L_0} = 1 - \frac{L_E}{L_0} \quad (37)$$

$$\text{JfS-Entwurf } \frac{L_E}{L_0} = \frac{0.8575 \cdot \varphi_0 - 0.5445}{2 \cdot \varphi_0 - 1.27} \quad (38)$$

Damit sind die eigentlichen Hauptformgrößen und Methoden ihrer Bestimmung behandelt. In gewisser Weise wird man aber oft die Schwerpunktlage der Verdrängung, die ja zu den Hauptkonstruktionsdaten gehört, deshalb auch zu den Hauptformgrößen zählen. Es soll darum hier noch auf die sich beim Entwurf nach dem vorgeführten Arbeitsgang sich zwangsläufig ergebende Schwerpunktlage und auf die Methoden willkürlicher Schwerpunktsänderungen eingegangen werden. Selbstverständlich können Zahlenangaben hierzu nur unter

Verwendung der sich aus dem Charakter der Spantflächenkurve ergebenden Ergebnisse erhalten werden. An diesem Prinzip soll festgehalten werden unbeschadet der Tatsache, daß man ein Spantflächenkurven-System anwenden könnte, bei dem nicht nur die Völligkeit, sondern auch die Schwerpunktlage von vornherein vorgegeben ist; ein derartiges System zum Prinzip erhoben, kompliziert jedoch das ganze Verfahren erheblich wegen der dann sehr großen Gefahr von Entartungen im Spantflächenkurven-Verlauf.

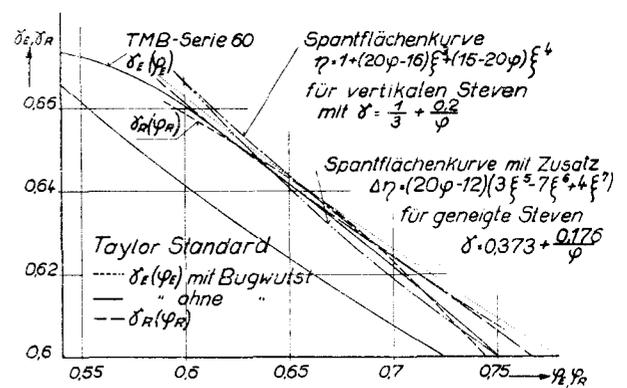


Bild 7

Aus den Einzelverdrängungen der drei Teile „Eintritt“, „Mittelschiff“ und „Austritt“ („Run“) setzt sich die Verdrängung des gesamten Schiffes zusammen. Entsprechend ergibt sich daraus und aus den Einzelschwerpunktslagen der drei Teile der Schwerpunkt der Verdrängung. In Bild 7 sind relative Schwerpunktslagen von Eintritt und Austritt — γ_E und γ_R — abhängig von den entsprechenden Schärfegraden φ_E und φ_R dargestellt. Außer den Angaben von Todd [23] sind die Ergebnisse von mathematischen Formen verwendet. Die Erläuterung der Bezeichnungen ist in Bild 8 gegeben.

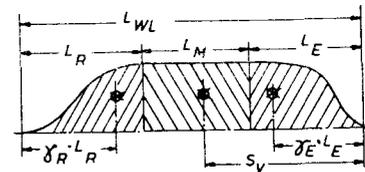


Bild 8

Aus dem Ansatz der Volumen-Momente folgt für die Schwerpunktlage der Verdrängung

$$S_V = \frac{\varphi_E \cdot \gamma_E \left(\frac{L_E}{L_{WL}} \right)^2 + \varphi_R \cdot \frac{L_R}{L_{WL}} \left(1 - \gamma_R \cdot \frac{L_R}{L_{WL}} \right)}{\varphi} + \frac{L_M}{L_{WL}} \left(\frac{L_E}{L_{WL}} + \frac{L_M}{2 L_{WL}} \right) \quad (39)$$

Dabei ist $\frac{L_E}{L_{WL}} = \frac{L_E}{L_0} \cdot \frac{L_0}{L_{WL}} = \frac{\varphi_0 - \varphi_R}{\varphi_E - \varphi_R} \cdot \frac{1 - \varphi}{1 - \varphi_0}$
 $\frac{L_R}{L_{WL}} = \left(1 - \frac{L_E}{L_0} \right) \cdot \frac{L_0}{L_{WL}} = \left(1 - \frac{\varphi_0 - \varphi_R}{\varphi_E - \varphi_R} \right) \cdot \frac{1 - \varphi}{1 - \varphi_0}$
 und $\frac{L_M}{L_{WL}} = 1 - \frac{L_0}{L_{WL}} = 1 - \frac{1 - \varphi}{1 - \varphi_0}$

Tafel 6
Methoden der Schwerpunktsänderung

Art der Änderung	Beeinflussung der Formgrößen							
	φ	L_0 LWL	φ_0	φ_E	φ_R	L_E L ₀	γ_E	γ_R
A. „Verzerrung“	=	=	≠	≠	≠	≠	≠	≠
B. „Verschiebung“	≠	=	≠	=	=	≠	=	=
C. „Verschiebung“ nach Schneiders	=	≠	≠	=	=	≠	=	=
D. reine „Umsetzung“	=	=	=	≠	≠	=	≠	≠
E. Eintrittsänderung	=	=	=	≠	=	≠	≠	=
F. Austrittsänderung	=	=	=	=	≠	≠	=	≠
G. Änderg. beid. Enden	=	=	=	≠	≠	≠	≠	≠
H. örtliche Verformung	=	=	=	=	=	=	≠	≠

= gleichbleibend

$$\frac{L_0}{LWL} = 1 - \frac{L_M}{LWL}$$

≠ geändert

$$\frac{L_R}{L_0} = 1 - \frac{L_E}{L_0}$$

Erfolgt die Wahl der Hauptformgrößen nach dem Gesichtspunkt der Erzielung eines geringen Formwiderstandes, so erhält man zwangsläufig mit (39) auch eine für den Formwiderstand günstige Schwerpunktslage. Dabei ist die vernünftigerweise in Betracht kommende Variationsbreite von γ_E und γ_R nach Bild 7 nur sehr gering. Geht man jedoch nicht den Weg über die sorgfältige Auswahl aller der vorstehend beschriebenen Hauptformgrößen, sondern verwendet neben den Hauptabmessungen sogleich die Schwerpunktslage als einen primären Entwurfsparameter, so ergibt sich, wie z. B. die Untersuchung von Völker [24] gezeigt hat, ein breites Streugebiet für die sogenannte und viel beredete „günstigste“ Schwerpunktslage.

Die Methode des Linienentwurfs darf sich jedoch nicht auf den Fall der für den Formwiderstand günstigsten Schwerpunktslage beschränken, da häufig aus dem Kompromiß zwischen Konstruktion und Ladungsverteilung abweichende Schwerpunktslagen verwirklicht werden müssen. Ist also z. B. nach dem hier genannten Verfahren mit (39) eine Schwerpunktslage festgelegt worden, so muß ein genaues in der Formgestaltung sinnvolles Verfahren zu etwa gewünschten Schwerpunktsänderungen zur Verfügung stehen. Über Verfahren zur Schwerpunktsänderung ist wohl schon mehr gearbeitet worden als über Verfahren des Linienentwurfes an sich; vgl. hierzu z. B. [7], [9], [17] und [25]. In Tafel 6 sind eine Reihe von Methoden der Schwerpunktsänderung aufgeführt und ihre Auswirkung auf die wichtigsten Hauptformgrößen angegeben. Eine Diskussion der Vorteile und Nachteile jeder einzelnen Methode soll hier unterbleiben. Von den hier vertretenen Gesichtspunkten aus sollten alle die Verfahren ausscheiden, die grundlegende Hauptformgrößen mit der Schwerpunktsänderung mit verändern, so daß also nur die Verfahren D bis G hier in Betracht gezogen werden.

Das von Völker als „Umsetzung“ bezeichnete Verfahren D hat den Vorzug der größten Einfachheit. Der in (40) angegebene zwangsläufige Zusammenhang zwischen den Änderungen der beiden Schärfegrade kann bei größeren Schwerpunktsverschiebungen jedoch zu einer Formgebung führen, die sich ungünstig von der unterscheidet, die man erzielt hätte, wenn das Schiff von vornherein mit der geänderten Schwerpunktslage entworfen worden wäre. Um diesem von Schneiders besonders herausgestellten Gesichtspunkt Rechnung zu tragen, sind noch die Methoden E und F bzw. für die volle Konsequenz dieses Gesichtspunktes G angegeben. Für die Anwendung von E und F gelten die Bedingungen (40) bzw. (41), während das

Verfahren G einem Neuentwurf entspricht, der ab Bild 6 des hier beschriebenen Entwurfsganges neu durchzuführen wäre.

Für Methode D: $\Delta\varphi_E = -\Delta\varphi_R \cdot \frac{L_R}{L_E}$ (40)

Für Methode E: $\frac{\Delta L_E}{L_E} = \frac{\Delta\varphi_E}{\Delta\varphi_E + \varphi_E} - \varphi_R$ (41)

Für Methode F: $\frac{\Delta L_R}{L_R} = \frac{\Delta\varphi_R}{\Delta\varphi_R + \varphi_R} - \varphi_E$ (42)

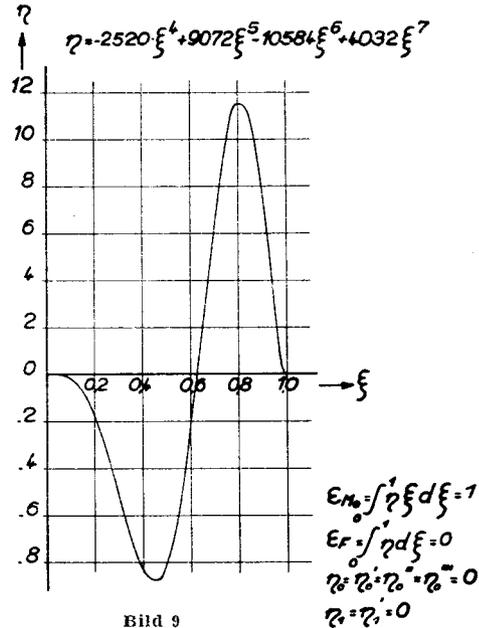


Bild 9

ξ	η
0	0
0,05	-0,015 120
0,10	-0,171 461
0,15	-0,694 008
0,20	-1,753 920
0,25	-3,316 320
0,30	-5,199 768
0,35	-7,029 792
0,40	-8,362 368
0,45	-8,751 456
0,50	-7,877 016
0,55	-5,612 040
0,60	-2,088 576
0,65	+2,201 976
0,70	+6,533 352
0,75	+9,976 176
0,80	+11,559 744
0,85	+10,658 088
0,90	+7,275 240
0,95	+2,667 168
1,0	0

Schließlich kann noch eine in Tafel 6 unter H genannte Methode der Schwerpunktsänderung, nämlich die „örtliche Verformung“ genannt werden. Hierbei wird also nur die Verdrängung innerhalb von Eintritt bzw. Austritt verformt, wobei also alle Hauptformgrößen unverändert bleiben außer eben der Schwerpunktslagen von Eintritt bzw. Austritt. Den Spantflächenfunktionen werden entsprechend formulierte Funktionen überlagert. Eine hierfür zweckmäßige Funktion ist in Bild 9 angegeben. Die dort auch tabellierten Ordinaten müssen mit dem erforderlichen $\Delta\epsilon_M$ — vgl. Tafel 1 — multipliziert werden, das sich aus

$$\epsilon_F = \varphi_E \quad \Delta\epsilon_M = \Delta\gamma \cdot \epsilon_F \quad (43)$$

bzw. $\epsilon_F = \varphi_R$

einfach ergibt, wenn $\Delta\gamma$ die erwünschte örtliche Schwerpunktslagenänderung ist, die über (39) dann zur Ermittlung bzw. Kontrolle der neuen Schwerpunktslage führt. Dies letztgenannte Verfahren ist in gewisser Weise zwar das einfachste und mit dem geringsten Rechenaufwand verbunden, aber es ist eine etwas gewaltsame Methode, die nur zur Durchführung geringfügiger Änderungen angewandt werden darf, da andernfalls

leichter mit Entartungen im glatten Verlauf der Spantflächenkurve — besonders wenn die Verdrängung eines Teiles nach Mitte Schiff zu konzentriert werden soll — zu rechnen ist. Eine entsprechende Kontrolle ist darum vor der endgültigen Festlegung geboten.

E. Zur Anwendung und Ergänzung des Verfahrens

Die bereits früher [21] vorgeschlagene Methode zur Darstellung von Schiffskonturen ist — Erfahrungen und Anregungen [1] folgend — weiter und universeller ausgebaut worden. Aus Gründen der klareren Systematik sind zwar die Bezeichnungen verändert — vereinfacht — worden (siehe Gegenüberstellung in Tafel 1), aber am Prinzip hat sich nichts verändert, so daß die in [21] gegebenen Rechnungsunterlagen weiter verwendet werden können. Zweckmäßig wird man jedoch noch weitere Einflußfunktionen als dort angegeben in Gebrauch nehmen, wenn es sich um die Darstellung besonders extremer Konturen handelt, wie sie an jedem normalen Schiff z. B. bei der Gillungslinie vorkommen.

Wenn man die Leistungen verschiedener Schiffsförmungen systematisch auswerten will, muß man eine ausreichende Beschreibung dieser Formen angeben können. Es liegt auf der Hand, daß solche Beschreibungen auch für nicht-mathematische Schiffsförmungen gegeben werden müssen, und zwar mit gleicher Zuverlässigkeit wie für die mathematischen. Die in Abschnitt C. gemachten Angaben sollten dazu beitragen, solche Beschreibungen in Form von Formparametern relativ leicht geben zu können. Leider fehlen sehr oft bei systematischen Versuchsreihen sogar die Angaben über die übergeordneten Maßverhältnisse, die hier Hauptformgrößen genannt worden sind (Abschnitt D). Auch in dieser Hinsicht können die Ergebnisse dieses Berichtes für die Analyse und die systematische Ordnung auch nicht-mathematischer Schiffsförmungen wohl dienlich sein.

Für das Hauptziel der Arbeit, dem Entwurf zu dienen, ist hier der — bei mathematischer wie bei nicht-mathematischer Entwurfsmethode in gleicher Weise notwendige — Ausgangspunkt behandelt. Bild 2 zeigt bereits, in welcher Weise der Schiffskörper zu zerlegen ist, um mit übersichtlichem Aufwand an Konturgleichungen die ganze Oberfläche dennoch zutreffend und ohne Not geborene Näherungen darstellen zu können.

So führt der weitere Arbeitsgang zunächst zur Spantflächenkurve, die im allgemeinen immer aus Eintritt L_E und Austritt L_A zusammengefügt durch das Mittelschiff L_M aufzubauen ist. Bereits hierbei muß jedoch schon mit Wissen um die weiteren Schritte gearbeitet werden, damit besonders im Bereich der Steven eine Harmonie im Verlauf der Wasserlinie wie der Stevenkonturen erzielt wird. Da jedes moderne Schiff mit geneigtem Steven auch bei endlicher Abrundung der Wasserlinie eine verschwindende Tangente der Spantflächenkurve am Steven mathematisch zwingend haben muß, ergibt sich mit der genannten und selbstverständlichen Harmonieforderung zusammen bereits eine ziemlich hohe Ordnung für die Konturgleichung der Spantflächenkurve, meist höher als die 6. Ordnung. Die in Tafel 1 gegebene große Zahl von Konturparametern ist ganz besonders für die wechselnden Bedürfnisse dieser Anwendung aufgestellt. Bei den weiteren Anwendungen wie Wasserlinie, Steven und Spantkurven werden diese hohen Ordnungen dann nicht mehr gebraucht. Jedoch muß auch hier auf die gute Anpassung aneinander geachtet werden, die nun einmal naturbedingt ist, aber dann leicht übersehen werden kann, wenn man statt mit der nur wenig Spielraum gebenden Straklatte mit dem scheinbar großen Spielraum der Zahl operiert. Besondere Beachtung erfordert hier die Zusammenfügung von Wasserlinienabrundung, Stevenneigung und Spant-

abrundung an den Loten. Zu beachten ist auch, daß durchaus nicht an allen „Stückelungsstellen“ der Konturen eine verschwindende zweite Ableitung η'' die „verbindende“ Bedingung darzustellen braucht. Im Bereich der Steven z. B. würde sich eine solche Bedingung für den Übergang vom Unterwasserschiff zum Überwasserschiff mit der heute selbstverständlichen Forderung nach einer abgerundeten Wasserlinie nicht vereinbaren lassen.

Mit der vorgelegten Arbeit ist also noch keineswegs eine blind beschreibbare Brücke zu einem mathematischen Linienriß gebaut. Doch sind übersichtliche und nicht mühsame Wege dorthin aufgezeigt.

F. Schrifttum

Neben dem nachstehend in alphabetischer Ordnung angegebenen einschlägigen Schrifttum sei zur Erzielung einer gewissen Vollständigkeit in der Literaturübersicht auf die in [21] bereits aufgeführte umfangreiche Schrifttumssammlung hingewiesen.

- [1] Alef, W.: Annäherung einer Funktion durch ein Polynom. HSWA 20. 12. 1954.
- [2] Arkenbout Schokker, Neuerburg, Vossnack: The design of merchant ships, Haarlem, 1953.
- [3] Baker, G. S.: Ship design, resistance and screw propulsion. Vol. I. The design of ship forms and their resistance. Liverpool, 1948.
- [4] Dawson, J.: Resistance of single screw coasters $L/B = 6$. Inst. Eng. Shipb. Scotland, 1952/53, S. 313 u. 1954/55, S. 49.
- [5] Gertler, M.: A reanalysis of the original test data for the Taylor standard series. TMB Rep. 806, 1954.
- [6] Grammel, R.: Eine Verallgemeinerung der Kreis- und Hyperbelfunktionen. Ing.-Archiv, Bd. 16, 1947/48, S. 188/200.
- [7] Konig, J.: EHP of small seagoing cargo ships with L/B ratio = 6. NSP Public No. 37.
- [8] Lackenby, H.: On the systematic geometrical variation of ship forms. Trans. Inst. Nav. Arch., 1950, S. 289/316.
- [9] van Lammeren, W.: Weerstand en voorstuwung van schepen. Amsterdam, 1942.
- [10] Landweber, L., und Gertler, M.: Mathematical formulation of bodies of revolution. TMB Rep. 719, 1950.
- [11] Lap, A.: Diagrams for determining the resistance of single-screw ships. NSP Public No. 118. Intern. Shipb. Progress Vol. 1., 1954, S. 179/193.
- [12] Lidbro, N.: Matematisk formbestämning av flygplanets skalytor. Teknisk Tidskrift, 1950, S. 481/483.
- [13] Lidbro, N.: Fartygsgeometri och matematisk formbestämning. Teknisk Tidskrift, 1952, S. 341.
- [14] Lindblad, A.: Konstruktion av linjer för moderna handelsfartyg. Chalm. Tekn. Högsk. Handl. Nr. 163, 1955.
- [15] Nönnecke, E.: Die Wahl der Hauptdaten von Trockenfrachtern. Schiff u. Hafen, 1956, S. 501/504. Schiffbautechnik, 1956, S. 205/209.
- [16] Pien, P.: Discussion to Mr. Todds paper. Soc. Nav. Arch. Mar. Eng., 1953, S. 580/582.
- [17] Schneiders, C.: „Verzerrung“ und „Verschiebung“ als systematische Verlagerungen des Verdrängungsschwerpunktes von Schiffen. Schiff und Hafen, 1954, S. 593/595.
- [18] SNAME: Model and expanded resistance data sheets with explanatory notes. SNAME Bulletin 1—13, 1—14, 1953.
- [19] Taggart, R.: Mathematical fairing of ships' lines for mold loft layout. Journ. Am. Soc. Nav. Eng. Vol. 67, 1955, S. 337/357.
- [20] Thieme, H., und Alef, W.: Allgemeine Konturgleichungen für Schiffslinien. HSWA Ber. 959, 1950.
- [21] Thieme, H.: Systematische Entwicklung von Schiffslinien. Schiff u. Hafen, 1952, S. 241/245.
- [22] Todd, F., und Forest, F.: Proposed new basis for design of single-screw merchant-ship forms and standard series lines. SNAME, 1951, S. 642/692.
- [23] Todd, F.: Some further experiments on single-screw merchant ship forms-series 60. SNAME, 1953, S. 516/574.
- [24] Völker, H.: Günstigste Lage des Verdrängungsschwerpunktes von Handelsschiffen. Schiff und Hafen, 1953, S. ...
- [25] Völker, H.: Systematische Verlagerungen des Verdrängungsschwerpunktes von Schiffen. Schiff u. Hafen, 1953, S. 339/341.
- [26] Völker, H.: Systematic variation of usual ship forms. Intern. Shipb. Progress Vol. 1, 1954, S. 10.
- [27] Weinblum, G.: Systematische Entwicklung von Schiffsförmungen. Jahrb. d. STG., 1953, S. 186/215.
- [28] Witte, H.: Die Entwurfsrechnung für Frachtschiffe. Schiff u. Hafen, 1955, S. 123.