

Bild 18: Einfluß der Ruderdicke auf die Rudermomentenbeiwerte  $C_{OR}$  bei einem Containerschiff (M 822)

## Das Propulsions-Prognose-Verfahren der SVA Potsdam

Friedrich Mewis

### 1. Einleitung

Propulsionsversuche mit Schiffsmodellen werden im Routineversuch mit zwei Zielen durchgeführt: der Ermittlung der erreichbaren Geschwindigkeit und der Schaffung der für den Propellerentwurf erforderlichen Kennwerte. Für die Ermittlung der erreichbaren Geschwindigkeit würde ein einfacher Propulsionsversuch ausreichen. Für die Ermittlung der Kennwerte braucht man in der heutigen Praxis jedoch die Ergebnisse des entsprechenden Widerstandsversuches sowie die Propeller-Freifahrtkennlinien, die im Freifahrtversuch gewonnen werden.

Hydrodynamische Modellversuche müssen unter Beachtung von zwei wesentlichen Modellgesetzen, dem Froudeschen Gesetz und dem Reynoldssche Gesetz, vorgenommen werden. Leider läßt sich hierbei nur das Froudesche Gesetz, dessen Einhaltung für gleiche Wellenbildung am Schiff und Modell Voraussetzung ist, realisieren. Das Reynoldssche Gesetz, das die Zähigkeitswirkung des fließenden Mediums berücksichtigt, kann im hydrodynamischen Modellversuch nicht eingehalten werden. Dadurch entstehen Unterschiede zwischen Modellversuch und Großausführung, die sich etwa in der folgenden Weise beschreiben lassen:

- <1> Höherer Reibungswiderstand am Modell  
Ursache: Dickere Grenzschicht infolge kleinerer Reynoldszahl  
Abhilfe: Reibungsabzug
  - <2> laminare Strömung am Modell  
Ursache: Übergang laminar/turbulent verhält sich nicht dem Modellmaßstab entsprechend  
Abhilfe: Turbulenzerzeuger im Vorschiff
  - <3> glattere Oberfläche am Modell  
Ursache: Lackqualität u.a.  
Abhilfe: Zuschlag ( $C_A$ ) im Reibungsabzug
  - <4> fehlende Zusatzwiderstände im Modellversuch  
Ursache: Modellversuche werden mit „nacktem“ Modell und unter Glattwasserbedingungen gefahren  
Abhilfe: Widerstandszuschläge im Reibungsabzug
- Unterschiede der Hydromechanik am Modellpropeller:
- <5> Modellpropeller arbeitet im höheren Nachstrom  
Ursache: kleinere Reynoldszahl des Schiffsmodells, dickere Grenzschicht  
Abhilfe: Nachstromkorrektur, rechnerisch

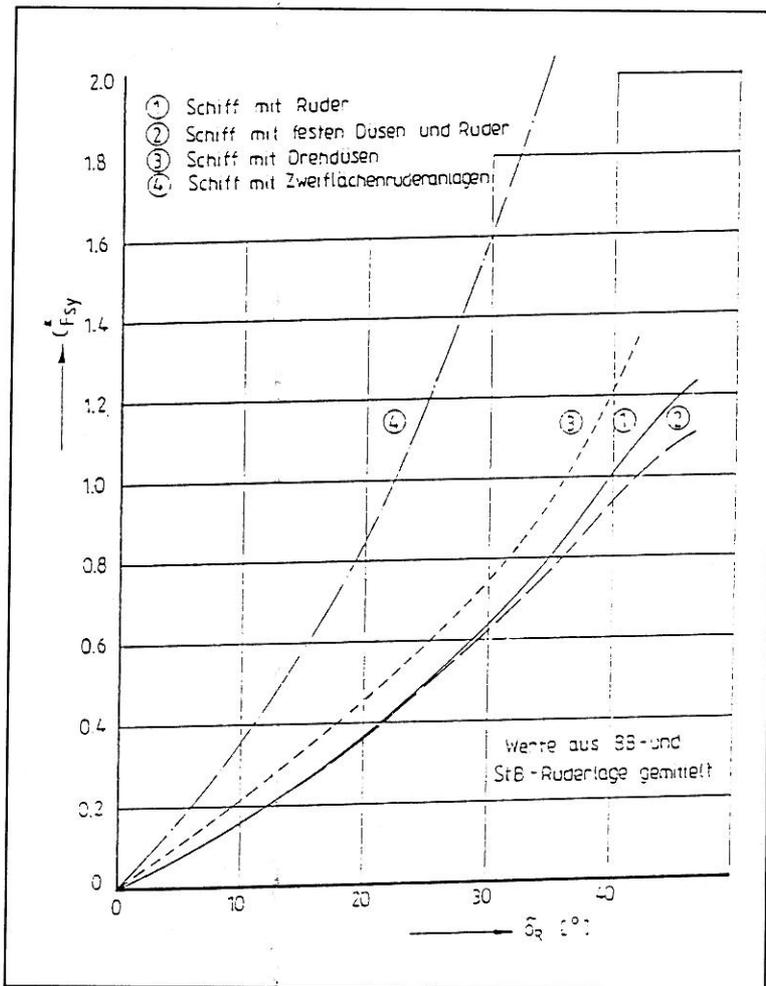


Bild 16: Schiffsquerkraftbeiwerte eines Binnencontainerschiffes M 654

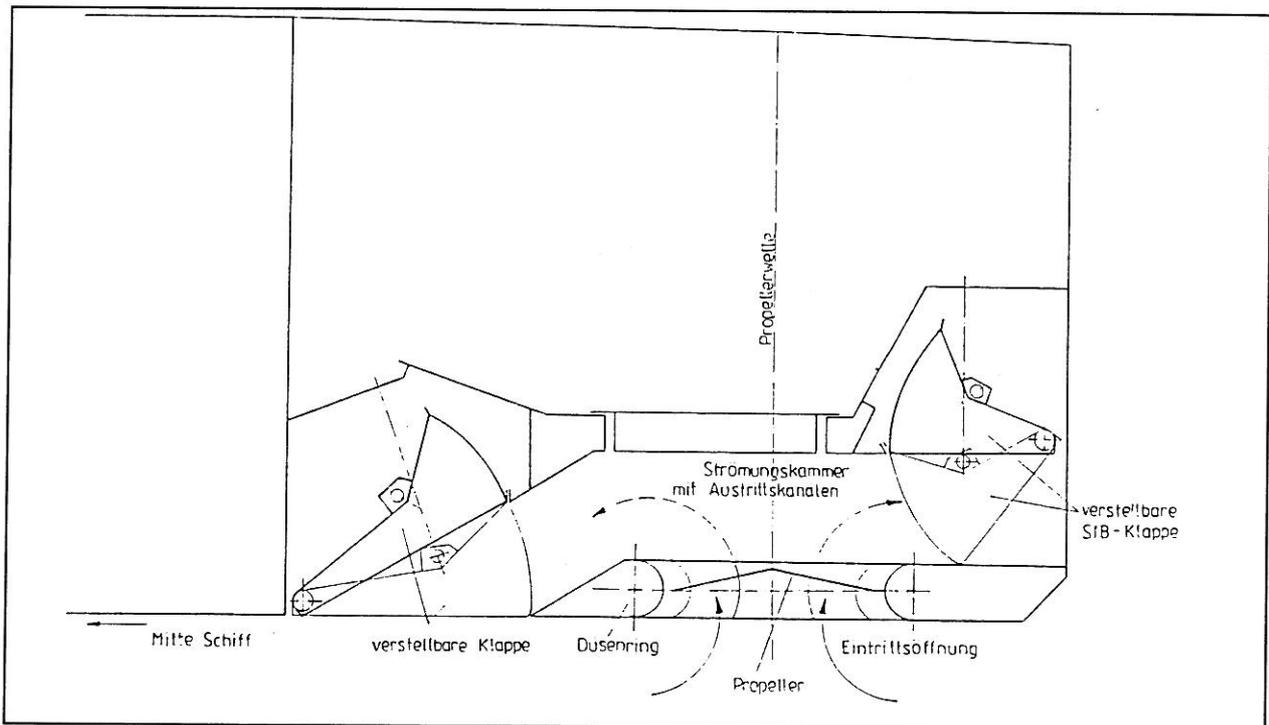


Bild 17: Wasserstrahl - Antriebsaggregat für selbstfahrenden Schwimmkran M 633/643 (Schnitt - Zeichnung des StB-Aggregates)

- <6> Modellpropeller arbeitet auf ungünstigerer Kennlinie  
 Ursache: kleinere Reynoldszahl des Modellpropellers  
 Abhilfe: Aufwertung, rechnerisch
- <7> Modellpropeller arbeitet unter anderen Druckbedingungen, so daß keine Kavitation auftreten kann  
 Ursache: nahezu atmosphärischer Druck am Modellpropeller  
 Abhilfe: im normalen Propulsionsversuch nicht möglich, Unterdruckrinne, Propulsionsversuche im Kavitationstank

Die Unterschiede der ersten Gruppe, die das Schiffmodell betreffen, werden im Routineversuch durch die genannten Maßnahmen berücksichtigt. Das Schiffmodell wird im Propulsionsversuch also weitestgehend unter den Bedingungen der Großausführung untersucht. Für das Propellermodell gilt das nicht. Sämtliche genannten Unterschiede lassen sich entweder nur nachträglich rechnerisch oder überhaupt nicht bereinigen.

Zu den Aufgaben einer Versuchsanstalt gehört es, eine zuverlässige Prognose für die Großausführung abzugeben. Um das zu erreichen, wurde in der SVA Potsdam, wie in vielen Versuchsanstalten der Welt, eine eigene Prognose-Methode entwickelt, mit der alle Versuchsergebnisse auf möglichst realistische Großausführungsbedingungen umgerechnet werden. Diese Propulsions-Prognose-Rechnung (PPR) soll in der vorliegenden Arbeit vorgestellt werden.

## 2. Versuchs- und Umrechnungsverfahren von Propulsionsversuchen

Die wichtigste Voraussetzung für eine zuverlässige Prognose der Propulsionseigenschaften der Großausführung ist das Vorliegen von sicheren Modellversuchs-Ergebnissen. In der SVA Potsdam werden für die Erzeugung eines Datensatzes „Propulsionskennziffern“ in traditioneller Weise jeweils ein Widerstandsversuch, ein Propellerfreifahrtversuch und ein Propulsionsversuch nach der sogenannten „kontinentalen Methode“ durchgeführt. Die Umrechnung der Modellversuchsergebnisse erfolgt nahezu ausschließlich nach der ITTC-1957-Methode, wobei der Reibungsabzug grundsätzlich nach der Beziehung

$$F_D = R_{TM} \frac{R_{TS}(15^\circ C)}{\lambda^3 \cdot \rho_S / \rho_M} \quad (1)$$

bestimmt wird. Der Schiffswiderstand ergibt sich daraus zu

$$R_{TS(15^\circ)} = (R_{TM} - F_D) \lambda^3 \frac{\rho_S}{\rho_M} \quad (2)$$

Die praktische Berechnung des Reibungsabzuges erfolgt nach der Formel:

$$F_D = \frac{\rho_M}{2} V_M^2 S_M [(C_{FM} - C_{FS}) - C_A] \quad (3)$$

Durch die Differenzbildung ( $C_{FM} - C_{FS}$ ) wird der Unterschied

<1> rechnerisch bei der Umrechnung berücksichtigt. Als Reibungslinie wird die 1957 von der 8. ITTC empfohlene sogenannte ITTC-1957-Linie verwendet:

$$C_F = 0,075/\lambda^2 (Rn - 2)^2 \quad (4)$$

$$\text{mit } Rn = \frac{V}{L_{WL} \cdot \nu} \quad (5)$$

Der Unterschied <2> wird durch künstliche Turbulenzerzeuger im Vorschiff des Modells ausgeglichen. Der Unterschied <3> wird über den Zusatzwiderstandsbeiwert  $C_A$  erfaßt. Der  $C_A$ -Wert hat den früher üblichen Rauheitszuschlag  $\Delta C_F^R$  ersetzt. Die Höhe des  $C_A$ -Wertes ist außer von der Rauigkeit des Schiffskörpers wesentlich von der Schiffslänge, d.h. Reynoldszahl, und auch vom Völligkeitsgrad abhängig. Außerdem sind im Zusatzwiderstandsbeiwert  $C_A$  eigene Erfahrungen der Schiffbauversuchsanstalt enthalten.

Der Unterschied <4> wird über einen einfachen Überlastfaktor  $K_1$  erfaßt, in welchem summarisch alle zusätzlichen Widerstandsteile, die im Modellversuch nicht vorhanden sind, wie z.B. Zuschläge für Fahrtwind, Ruderlegen, Schlingerkeile, Anhänge, Bugstrahlruderöffnungen u.a., zusammengefaßt dem Widerstand des nackten Schiffes zugeschlagen werden. Widerstandsversuche werden in der SVA ohne jegliche Anhänge, also auch ohne Ruder, gefahren. Der Überlastfaktor beträgt für Probefahrbedingungen normalerweise  $K_1 = 1,06 \dots 1,10$  (6 ... 10%  $R_{TS}$ -Zuschlag).

Die Propulsionsversuche werden in der SVA Potsdam im Normalfall so ausgeführt, daß die Unterschiede <1> bis <4> zwischen Modell und Großausführung nicht vorhanden sind. Um das zu gewährleisten, wird das Modell über den „Reibungsabzug“ so entlastet, daß der Propeller unter gleicher Belastung wie am Schiff arbeitet. Der „Reibungsabzug“, der dem Ausgleich der Unterschiede <1>, <3> und <4> dient, wird dafür nach der folgenden Formel berechnet:

$$F_D^* = F_{D(P)} - (K_1 - 1) \cdot (R_{TM} - F_{D(W)}) \quad (6)$$

mit  $K_1$  = Überlastfaktor

$F_{D(P)}$  = Reibungsabzug für Wassertemperatur des Propulsionsversuches

$F_{D(W)}$  = Reibungsabzug für Wassertemperatur des Widerstandsversuches

Der Propulsionsversuch wird normalerweise für einen konkreten Überlastfaktor gefahren. In den meisten Fällen ist das der Überlastfaktor für den Probefahrzustand, für den der Propeller auch ausgelegt wird.

Diese Verfahrensweise hat den Vorteil, daß die Propellerkennziffern für die Propellerauslegung unter der richtigen Propellerbelastung ermittelt werden und daß auf dem Schleppwagen Meßwerte entstehen, die direkt auf die Großausführung umgerechnet werden können. Da die später auszuführenden Korrekturen für <5> und <6> sich für die Leistung entgegengesetzt auswirken und damit nahezu aufheben, können die während des Versuches gewonnenen Leistungswerte für eine erste Vorprognose direkt verwendet werden. Mit dieser Methode liegt also

nach jeder Meßfahrt sofort ein direkt verwendbarer Leistungswert vor, was als großer Vorteil angesehen werden kann.

Diese Verfahrensweise hat jedoch den kleinen Nachteil, daß zum Zeitpunkt des Propulsionsversuches ein Widerstandsversuchsergebnis vorliegen muß. Ist das nicht der Fall, kann der Widerstandszuschlag auch über einen pauschalen  $C_A$ -Zuschlag im Reibungsabzug realisiert werden. Die Umrechnung der Propulsionsversuchsergebnisse auf die Großausführung erfolgt in der SVA in der Vorprognosestufe ohne jegliche Korrektur (bis auf eine Momentenkorrektur für die Modell-Lagerreibung), unter Einhaltung des Froudeschen Ähnlichkeitsgesetzes nach den folgenden Beziehungen:

$$V_s = V_M \sqrt{\lambda} / 0,5144 \quad /kn/ \quad (7)$$

$$n_s = n_M / \lambda \quad /1/s/ \quad (8)$$

$$T_s = T_M \frac{\rho_s}{\rho_M} \lambda^3 \cdot 10^{-3} \quad /kN/ \quad (9)$$

$$Q_s = Q_M \frac{\rho_s}{\rho_M} \lambda^4 \cdot 10^{-3} \quad /kNm/ \quad (10)$$

$Q_M$  wird bezüglich Lagerreibung durch Propellergewicht korrigiert.

$$P_{os} = n_s \cdot Q_s \cdot 2\pi \quad /kW/ \quad (11)$$

Die Propulsionskennziffern werden in der bekannten Weise bestimmt:

$$t = \frac{T_s - R_{TS}}{T_s} \quad (12)$$

$$\eta_D = P_{ET} / P_D \quad (13)$$

Für die Berechnung der effektiven Nachstromziffer ist das Vorhandensein eines Freifahrt diagrammes  $K_{To}$ ,  $K_{Qo} = f(J_o)$  des verwendeten Modellpropellers Voraussetzung. Aus der Schub- bzw. Momentenidentität (Schubidentität: Identischer Schubbeiwert bei Freifahrt des Propellers und im Nachstromfeld des Schiffsmodells) werden die Fortschrittsziffern  $J_{To}$  und  $J_{Qo}$  bestimmt. Die Nachstromziffer für Schubidentität ergibt sich aus:

$$W_T = 1 - \frac{J_{To}}{J_P} \quad (14)$$

mit  $J_P = \frac{V_M}{D_M \rho_M}$ , Propulsionsversuch

$J_{To} =$  Fortschrittsgrad der Freifahrtkurve bei  $K_{To} = K_{TP}$

Für Momentenidentität gilt sinngemäß:

$$W_Q = 1 - \quad (15)$$

Für die Berechnung der weiteren Propulsionskennziffern wird die Nachstromziffer bei Schubidentität  $W_T$  verwendet:

$$\eta_{HT} = \frac{1 - t}{1 - W_T} \quad (16)$$

$$\eta_{OT} = \frac{K_{TO}}{K_{QO}(T)} \cdot \frac{J_{TO}}{2\pi} \quad (17)$$

$$\eta_{RT} = \frac{\eta_D}{\eta_{OT} \eta_{HT}} \quad (18)$$

Als Tabelle 1 ist als Beispiel eine SVA-Tabelle „Ergebnis Propulsionsversuch“ wiedergegeben. Diese Tabelle ist in jedem entsprechenden SVA-Bericht enthalten. Die dargestellten Werte sind nach den Formeln (7) bis (18) direkt aus den Meßwerten unter Verwendung des angegebenen unkorrigierten Freifahrt diagramms des Modellpropellers berechnet. Für den Propellerentwurf und auch für die Prognoserechnung benötigt man vier der errechneten Kennziffern, die in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit zur Verfügung stehen:

Geschwindigkeit	V	kn
Schleppleistung	$P_{ET}$	kW
Sogziffer	t	-
Nachstromziffer	$W_T$	-
Gütegrad der Anordnung	$\eta_R$	-

### 3. Das Prognoseverfahren der SVA Potsdam

Für die möglichst exakte Voraussage der mit einem Schiff erreichbaren Geschwindigkeit und insbesondere für die Propellerauslegung ist eine Prognoserechnung erforderlich, in der die Unterschiede zwischen Modell und Großausführung für den arbeitenden Propeller berücksichtigt werden. Die Unterschiede <5> (Nachstrom) und <6> (Reynoldszahl) lassen sich rechnerisch auf der Grundlage empirischer Auswertungen und anerkannter Theorien verhältnismäßig sicher berücksichtigen. Für den Unterschied <7> (Umgebungsdruck) gibt es noch keine befriedigende einfache rechnerische Erfassung. Für den konventionellen Propellerentwurf ist mit keiner wesentlichen Beeinflussung der Propellerfreifahrtcharakteristik durch Kavitationserscheinungen am Propeller zu rechnen.

Von der 15. ITTC ist 1978 /1/ ein Prognoseverfahren empfohlen worden, in dem die Unterschiede <1> bis <6> korrigiert werden. Die mit dem Verfahren verbundene Einführung des Formfaktors k, die zwar in physikalischer Hinsicht ein Fortschritt ist, bei konsequenter Anwendung aber zu neuen Fehlerquellen bei der Leistungsberechnung führt /2/, haben nur relativ wenige Versuchsanstalten dieses Verfahren direkt für den Routinebetrieb übernommen. Auch in der SVA-Potsdam ist nach gründlicher Prüfung der traditionelle Weg fortgesetzt worden, und es ist im letzten Jahrzehnt ein Prognoseverfahren entwickelt bzw. weiterentwickelt worden, in dem die Unterschiede <5> und <6> korrigiert werden. Dieses SVA-Prognoseverfahren ist in einem SVA-internen, nutzerfreundlichen EDV-Programm mit dem Namen PPR in der Programmiersprache FORTRAN 1600 niedergelegt /3/.

#### 3.1. Grundlagen der Propulsions-Prognose-Rechnung

Die Propulsions-Prognose-Rechnung der SVA (PPR) ist eine weiterentwickelte Propulsionsrechnung entsprechend Fall 10, Schiffbautechnisches Handbuch, S.447 /4/. Das Verfahren wurde von Diesner und Hoellfritsch entwickelt /5/. Eine Weiterentwicklung wurde durch den Verfasser vorgenommen. PPR ist für Einschraubenschiffe ohne und mit Düse programmiert. Zweischauber werden als halbe Einschrauber gerechnet.

Die Propulsionsdaten des Schiffes werden für einen Propeller mit der Charakteristik der Wageningen-B-Serie 1975 berechnet.

Die Berechnung findet auf den folgenden Grundlagen statt

- Propellerfreifahrtcharakteristik nach dem Polynomkoeffizienten Wageningen-B-Serie 1975 /6/, siehe Tabelle 3
- Reynoldszahlkorrektur der Propellerkennlinien auf  $R_n$ -Schiffspropeller <6> nach /6/, siehe Tabelle 4 (Rechnung auch ohne Korrektur möglich)
- Nachstromkorrektur <5> nach Yazaki /7/, siehe Formel (30) (Rechnung auch ohne Korrektur möglich)
- Freifahrtcharakteristik der Düsenpropeller nach Wageningen BB, KC, KA, KD  
Düsen 19A, 20, 21, 22, 33, 37  
Polynomkoeffizienten nach /8/, /9/, /10/

Um das PPR-Programm universell nutzen zu können, gibt es außer den verfahrensbedingt zwingend notwendigen Rechengängen keine im Programm festgeschriebenen Korrekturvorschriften. In der SVA gibt es aber eine sogenannte „Standardprognose“, siehe dazu Abschnitt 3.3.

### 3.2. Ein- und Ausgabe für PPR

#### Eingabewerte

Schiffsdaten	L	m
	B	m
	T	m
Propellerdaten	D	m
	Z	-
Motordaten	$A_E/A_O$	-
	$P_D$	kW
	n	1/min
Widerstandsdaten	$P_E$	kW
Propulsionsdaten	t	- für jeweils mindestens 5 Geschwindigkeiten
	$W_T$	-
Überlastfaktor	$\eta_{RT}$	-
	K1	(Zuschlag auf $P_E$ z.B.: 8% Zuschlag: K1 = 1,08)

#### Ausgabewerte

Berechnetes P/D des Propellers

Freifahrtcharakteristik des Propellers

Erreichbare Geschwindigkeit

Propulsionsdaten für jede der Eingabegeschwindigkeiten:

$P_D$	kW
$T_H$	kN
n	1/min
t	-
$W_T$	-
$\eta_D$	-
$\eta_{OT}$	-
$\eta_{HT}$	-
$\eta_{RT}$	-

Als Tabelle 2 ist ein komplettes Ausgabeblatt „Prognoserechnung Propulsion“ als Beispiel wiedergegeben.

### 3.3. „Standard-Prognose“ der SVA

Die Rechnung für die „Standard-Prognose“ der SVA läuft in der folgenden Reihenfolge ab:

#### I. Manuelle Dateneingabe

- Eingabe der erforderlichen Daten
- $P_E$ -Werte und Propulsionskennziffern unkorrigiert aus dem Widerstands- bzw. Propulsionsversuch
- Wahl des Überlastfaktors (Widerstandszuschlag) K1/1 zur Propellerauswahl (z.B. Probefahrtzuschlag K1 = 1,08)
- es ist eine freie Dateneingabe möglich

#### II. Programminterner Rechenablauf

- Berechnung des P/D für eingegebene Daten mit Reynoldszahlkorrektur mit Nachstromkorrektur
- Berechnung der erreichbaren Geschwindigkeit bei Schubgleichheit
- Berechnung der Propulsionskennwerte für jede angegebene Geschwindigkeit
- Berechnung der angegebenen Geschwindigkeit bei Nennleistung aus den Leistungswerten
- Berechnung des Leistungsbedarfs und der Propulsionsdaten für einen neuen Überlastfaktor K1/2 (z.B. Dienstbedingungen K1 = 1,08 x 1,15 = 1,292) für den oben berechneten Propeller
- Berechnung der erreichbaren Geschwindigkeit für diesen Fall
- weitere K1-Werte möglich

#### III. Ausgabe

Es werden die unter Abschnitt 3.2. beschriebenen Werte ausgegeben, siehe Tabelle 2.

### 3.4. Besondere Möglichkeiten der PPR

Wie bereits erwähnt, können alle Korrekturen innerhalb der PPR entweder gemacht werden oder nicht. Das hat den Vorteil, daß man auch mit beliebigen Eingabedaten, die z.B. nach anderen Verfahren korrigiert worden sind, rechnen kann. Natürlich sind auch Rechnungen mit völlig frei gewählten Eingabedaten möglich, die z.B. aus empirischen Verfahren für eine Vorausprognose gewonnen wurden.

Das Programm bietet weiterhin die Möglichkeit, Propulsionswerte des Schiffes mit vorgegebenen P/D zu berechnen.

Durch systematische Variation der Eingabewerte für den Propeller (D, z,  $A_E/A_O$ ) oder der Propellerdrehzahl ist eine Optimierung dieser Parameter möglich.

### 4. Rechnerische Ausführung des Programms

Die rechentechnische Ausführung des PPR-Programms wurde in der SVA von I. Radzimanowski und S. List /3/ vorgenommen. Das Programm ist ausgesprochen nutzerfreundlich gestaltet. Es wird mittlerweile für viele weitere Aufgaben als die eigentliche Prognoserechnung verwendet. Das Programm arbeitet nach dem im folgenden beschriebenen Algorithmus:

#### 4.1. Bestimmung des Steigungsverhältnisses P/D

Für jede Geschwindigkeit werden folgende Werte berechnet:

- Momentenbeiwert

$$K_o = \frac{P_{D, \text{nenn}} \eta_R}{2\pi \rho n^3 n_{\text{nenn}} D^5} \quad (19)$$

- Fortschrittsgrad

$$J = \frac{V(1-W_T)}{n_{\text{nenn}} D} \quad (20)$$

(entweder mit oder ohne  $W_T$ -Korrektur)

- Steigungsverhältnis des Propellers

$P/D$  für die berechneten  $K_o$  und  $J$ -Werte aus Polynomkoeffizienten für den vorgegebenen Propeller (entweder mit oder ohne  $R_n$ -Korrektur)

- Schubbeiwerte

$K_T = f(J)$  aus Polynomkoeffizienten des Freifahrt-  
diagramms

- rechnerischer Propellerschub bei Nennleistung

$$T_B = K_T \rho n^2 D^4 \quad (21)$$

- Propellerschub

$$T = \frac{K_T R_{TS}}{(t-1)} \quad (22)$$

mit  $R_{TS} = P_{ET}/0,5144 V$

Aus den berechneten Werten für  $T$ ,  $T_B$  und  $P/D$  werden drei Kurven in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit gebildet und zunächst die erreichbare Geschwindigkeit  $V_{err(1)}$  an der Stelle  $T = T_B$  ermittelt. Das Steigungsverhältnis des Propellers ergibt sich als  $P/D$  an der Stelle  $V_{err(1)}$ , wie im Bild 1 symbolisch dargestellt.

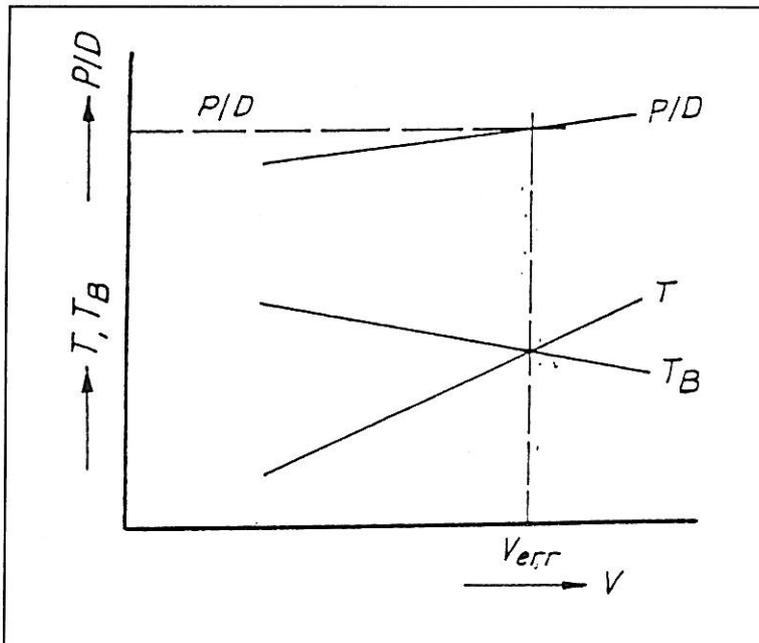


Bild 1: Bestimmung der erreichbaren Geschwindigkeit  $V_{err}$  und des Steigungsverhältnisses  $P/D$  (stark vereinfacht dargestellt)

## 4.2. Berechnung des Leistungsbedarfs

Für jede der vorgegebenen Geschwindigkeiten wird der Schubbelastungsgrad berechnet:

$$C_{TH} = \frac{T}{\rho_S V_A^2 D^2} \quad (23)$$

Aus dem Freifahrt-  
diagramm für das unter 4.1. berechnete Steigungsverhältnis wird für jede Geschwindigkeit der Fortschrittsgrad  $J$  bestimmt. Hiermit können die übrigen Propulsionskennziffern berechnet werden:

$$n = \frac{V_A}{J D} * 60 \quad \text{/1/min/} \quad (24)$$

$$\eta_o = \frac{K_T J}{K_Q 2\pi} \quad (25)$$

$$\eta_h = \frac{1-t}{1-W_T} \quad (26)$$

$$\eta_D = \eta_o \eta_h \eta_R \quad (27)$$

$$P_D = \frac{K_1 P_{KT}}{\eta_D} \quad \text{/kW/} \quad (28)$$

$$T = \frac{K_1 R_{TS}}{1-t} \quad \text{/kN/ entsprechend (22)} \quad (29)$$

Aus den nach (28) errechneten Leistungswerten wird nun erneut die für die angegebene Nennleistung erreichbare Geschwindigkeit  $V_{err(2)}$  berechnet. Diese Geschwindigkeit stimmt wegen der unterschiedlichen Ermittlungsverfahren nicht absolut mit  $V_{err(1)}$  überein, siehe z.B. Tabelle 2. Nach Abschluß des Rechenganges kann die gesamte Rechnung, Formel (23) bis (29), für einen neuen Überlastfaktor  $K_1$  wiederholt werden.

## 4.3. Korrektur der Nachstromziffer

Wie bereits erwähnt ist programmintern eine Korrektur der Nachstromziffer nach Yazaki  $W_s$  möglich. Das Yazaki-Verfahren ist eigentlich ein Diagramm-Verfahren. Numerisch aufbereitet ergibt sich die Schiffsnachstromziffer aus:

$$W_s = 1 - [0.906318 + 0.0406 * B/T - 3.40928 W_M^3 - 0.003371364 * (B/T)^3 + 0.1449656 (B/T) * W_M - 0.03647988 (B/T)^2 * W_M + 0.001009359 * W_M^2 * L_{PP} + 0.2942077 B/T * W_M^2 + 0.0005156716 (B/T)^4 + 4.698387 * W_M^4](1 - W_M) \quad (30)$$

## 4.4. Korrektur der Propeller-Freifahrt-Charakteristik

Für die Berechnung der Propellerkennwerte werden die Polynome der Wageninger-B-1975-Serie  $/6/$  entsprechend Tabelle 3 verwendet. Die Korrektur der  $K_T$ - und  $K_Q$ -Werte ist programmintern mit den ebenfalls

in  $/6/$  veröffentlichten Polynomen entsprechend Tabelle 4 möglich.

## 5. Verwendete Literatur

- /1/ Proceedings of the 15th International Towing Tank Conference. Report of Performance Committee Wageningen 1978
- /2/ Mewis, F.: Zum Einfluß des Formfaktors  $k$  auf die berechnete Leistung; Schiffbauforschung 28, 3/ 1989
- /3/ Baeker, I.; List, S.: Programmdokumentation; Propulsions-Prognose-Rechnung PPR, Potsdam, 1987/90 (unveröffentlicht)
- /4/ Henschke, W. Schiffbautechnisches Handbuch Band 1, Verlag Technik Berlin 1957, 2. Auflage
- /5/ Diesner, E.; Hoellfritsch, G.: Formblätter zur Bestimmung der Propellersteigung und des Leistungsbedarfs für Propeller Wageningen B 4 55, unveröffentlichtes Arbeitsmaterial der SVA Potsdam
- /6/ Oosterveld, M.W.C.; van Oossanen, P.: Further Computer-Analyzed Data of the Wageningen B-Screw Series; ISP Vol. 22, No. 251, 1975
- /7/ Yazaki, A.: A Diagramme to estimate the Wake Fraction for an Actual Ship from a Model Tank Test; Proc. 12. ITTC, Rome 1969
- /8/ Yosifov, K.; Zlatev, Z.; Staneva, A.: Optimum Characteristics equations for the K-J ducted propeller design charts; Selected Papers BSHC, volume 1, book 1, Varna 1986
- /9/ Yosifov, K.; Goranov, S.; Zlatev, Z.; Zlatanov, G.; Belchev, V.: „Systematic tests of ducted Propellers“ Conference on behaviour of ships in restricted waters; Varna Nov. 1982
- /10/ Yosifov, K.; Staneva, A.; Belchev, V.: „Equations for hydrodynamic and optimum efficiency characteristics of the Wageningen KC ducted propeller series“ 4. International Symposium on practical design of ships and mobile units, S. 115 ff., Varna Oct. 1989

	pulsionsversuches
$F_{D(W)}$	Reibungsabzug für Wassertemperatur des Widerstandsversuches
J	Fortschrittsziffer des Propellers
$J_p$	Fortschrittsziffer beim Propulsionsversuch
$J_{Q_0}$	Fortschrittsziffer bei Momentenidentität
$J_{T_0}$	Fortschrittsziffer bei Schubidentität
$K_Q$	Drehmomentenbeiwert
$K_{Q_0(T)}$	Drehmomentenbeiwert bei Schubidentität $J_{T_0}$
$K_{TP}$	Schubbeiwert beim Propulsionsversuch
$K_{T_0}$	Schubbeiwert der Freifahrtkurve
K1	Überlastfaktor beim Propulsionsversuch zur Berücksichtigung von Widerstandszuschlägen
L	Schiffslänge
$L_{PP}$	Länge zwischen den Loten
n	Drehzahl
$n_{nenn}$	Nenn Drehzahl des Motors
$P_D$	Wellenleistung am Propeller
$P_{Dnenn}$	Wellenleistung am Propeller bei Nennleistung des Motors
$P_{ET}, P_{ET}$	Schlepplleistung, Gesamtschlepplleistung
Q	Drehmoment
$R_n$	Reynoldszahl
$R_T$	Gesamtwiderstand
S	Benetzte Oberfläche des Schiffes
t	Sogziffer
T	Tiefgang
$T_B$	Propellerschub bei Nennleistung
$T_H$	Propellerschub
V	Schiffsgeschwindigkeit
$V_A$	Propellerfortschrittsgeschwindigkeit
$V_{er}$	erreichbare Geschwindigkeit
W	Nachstromziffer nach Taylor
$W_Q$	Nachstromziffer bei Momentenidentität
$W_T$	Nachstromziffer bei Schubidentität
z	Propellerflügelzahl
$\eta_D$	Propulsionsgütegrad
$\eta_H$	Schiffeinflußgrad
$\eta_{HT}$	Schiffeinflußgrad, berechnet mit WT
$\eta_R$	Gütegrad der Anordnung
$\eta_{RT}$	Gütegrad der Anordnung, berechnet mit WT
$\eta_o$	Wirkungsgrad des freifahrenden Propellers
$\eta_{oT}$	Wirkungsgrad des freifahrenden Propellers bei Schubidentität
$\lambda$	Modellmaßstab
$\rho$	Dichte des Wassers

\* Index M und S stehen für Modell und Schiff

## 6. Verwendete Symbole

$A_E$	Abgewinkelte und gestreckte Flügelfläche des Propellers
$A_O$	Propellerkreisfläche
B	Breite auf Spanten
$C_A$	Zusatzwiderstandsbeiwert
$C_F$	Reibungswiderstandsbeiwert
$C_{TH}$	Schubbelastungsgrad
D	Propellerdurchmesser
$F_D$	Reibungsabzug beim Propulsionsversuch
$F_{D^*}$	Reibungsabzug mit integriertem Widerstandzuschlag
$F_{D(P)}$	Reibungsabzug für Wassertemperatur des Pro-

Schiffbau-  
Versuchsanstalt  
Potsdam  
GmbH

ERGEBNIS PROPULSIONSVERSUCH

Bericht:  
Blatt :

MODELL : 780 B1  
MASZSTAB = 27.727  
VERDRAENGUNG [m\*\*3]=18120.00

PROPELLER P/D DREHRICHTUNG  
P1095 1.093 R

REIBUNGSABZUG NACH ITTC-1957  
CA = 0.000200  
FORMFAKTOR 1+K = 1.000  
UEBERLASTFAKTOR K1 = 1.080

PROPULSIONSVERS. NR.: 81 P 143  
WIDERSTANDSVERS. NR.: 81 W 114

DATUM: 26.03.81 DIAGR.:  
DATUM: 19.07.81 DIAGR.:

U [kn]	PD [kW]	T [kN]	n [1/min]	t [-]	WT [-]	WQ [-]	ETA-D [-]	ETA-OT [-]	ETA-HT [-]	ETA-R [-]
14.00	2925.6	392.0	67.30	0.202	0.350	0.347	0.770	0.623	1.229	1.005
15.00	3637.1	454.2	72.45	0.200	0.347	0.342	0.771	0.623	1.226	1.009
16.00	4460.0	520.2	77.62	0.197	0.343	0.338	0.771	0.624	1.223	1.010
17.00	5421.0	594.4	82.92	0.195	0.340	0.332	0.772	0.624	1.221	1.014
18.00	6541.2	675.8	88.33	0.193	0.337	0.327	0.772	0.623	1.218	1.017
19.00	7865.7	765.9	93.93	0.192	0.333	0.322	0.769	0.622	1.212	1.019
20.00	9427.1	864.0	99.71	0.193	0.329	0.318	0.761	0.622	1.202	1.018
21.00	11344.5	979.7	105.89	0.194	0.324	0.313	0.752	0.620	1.191	1.017
22.00	13689.3	1114.9	112.39	0.195	0.320	0.309	0.742	0.617	1.183	1.016
23.00	16390.2	1262.9	119.11	0.196	0.315	0.304	0.733	0.615	1.173	1.017
24.00	19340.4	1414.3	125.78	0.197	0.309	0.297	0.725	0.613	1.161	1.018

FREIFAHRTDIAGRAMM PROPELLER: P1095 P/D= 1.093 Z= 4 AE/A0= 0.550

J	KT	10KQ	ETA0	CT	CTH
0.0	0.4622	0.7239	0.0000	999.999	999.999
0.1	0.4385	0.6872	0.1016	43.851	111.666
0.2	0.4095	0.6438	0.2025	10.238	26.072
0.3	0.3761	0.5957	0.3015	4.179	10.643
0.4	0.3391	0.5440	0.3969	2.119	5.397
0.5	0.2991	0.4895	0.4862	1.196	3.046
0.6	0.2565	0.4325	0.5664	0.713	1.815
0.7	0.2120	0.3729	0.6332	0.433	1.102
0.8	0.1656	0.3100	0.6802	0.259	0.659
0.9	0.1177	0.2426	0.6946	0.145	0.370
1.0	0.0682	0.1692	0.6410	0.068	0.174
1.1	0.0170	0.0877	0.3402	0.014	0.036

Tabelle 1: Ergebnisblatt Propulsionsversuch für ein Frachtschiff unter Probefahrtbedingungen

Schiffbau-  
Versuchsanstalt  
Potsdam  
GmbH

PROGNOSERECHNUNG  
PROPULSION

Bericht:  
Blatt :

MODELL NR. : 780 B1  
 MODELLMASSTAB : 27.727  
 VERDRAENGUNG [m\*\*3] : 18120.0  
 TIEFGANG MITTL. [m] : 8.23  
 PROPULSIONSVERSUCH NR.: 81 P 143  
 WIDERSTANDSVERSUCH NR.: 81 W 114  
 DATUM: 26.03.81  
 DATUM: 19.03.81

REIBUNGSABZUG NACH ITTC-1957 CA = 0.00020  
 FORMFAKTOR 1+K =1.00000 UEBERLASTFAKTOR K1 = 1.0800  
 RHO [t/m\*\*3] =1.02600 WASSERTEMP. [oC] TW =15.0000

PROGNOSERECHNUNG MIT MITSTROMKORREKTUR NACH YAZAKI  
 FREIFAHRTDIAGRAMM AUF RN-SCHIFF KORRIGIERT

MASCHINENDATEN PD [kW] = 14355.0  
 N [1/min] = 122.0  
 PROPELLERDATEN TYP :  
 D [m] = 6.10  
 Z = 4  
 AE/A0 = 0.550

ERRECHNETES STEIGUNGSVERHAELTNIS P/D = 1.095  
 ERREICHBARE GESCHWINDIGKEIT (SCHUB) [kn] V = 21.94

V [kn]	PD [kW]	TH [kN]	N [1/min]	T [-]	WT [-]	ETA-D [-]	ETA-OT [-]	ETA-HT [-]	ETA-R [-]
18.00	7102.	676.1	97.1	0.193	0.271	0.711	0.632	1.107	1.017
19.00	8512.	766.3	103.1	0.192	0.268	0.711	0.632	1.103	1.019
20.00	10167.	864.4	109.3	0.193	0.264	0.706	0.633	1.096	1.018
21.00	12170.	980.2	115.7	0.194	0.260	0.701	0.633	1.089	1.017
22.00	14553.	1115.3	122.5	0.195	0.256	0.698	0.635	1.082	1.016
23.00	17258.	1263.4	129.4	0.196	0.253	0.696	0.636	1.076	1.017
24.00	20251.	1414.8	136.5	0.197	0.248	0.693	0.637	1.068	1.018

ERREICHBARE GESCHWINDIGKEIT (LEISTUNG) [kn] V = 21.92

LEISTUNGSBEDARF MIT UEBERLASTFAKTOR K1 =1.2420

V [kn]	PD [kW]	TH [kN]	N [1/min]	T [-]	WT [-]	ETA-D [-]	ETA-OT [-]	ETA-HT [-]	ETA-R [-]
18.00	8081.	777.6	100.1	0.193	0.271	0.719	0.639	1.107	1.017
19.00	9688.	881.2	106.3	0.192	0.268	0.718	0.639	1.103	1.019
20.00	11576.	994.1	112.7	0.193	0.264	0.713	0.639	1.096	1.018
21.00	13860.	1127.2	119.6	0.194	0.260	0.708	0.640	1.089	1.017
22.00	16594.	1282.6	126.6	0.195	0.256	0.704	0.640	1.082	1.016
23.00	19703.	1453.0	133.7	0.196	0.253	0.701	0.641	1.076	1.017
24.00	23143.	1627.1	140.9	0.197	0.248	0.697	0.641	1.068	1.018

ERREICHBARE GESCHWINDIGKEIT (LEISTUNG) [kn] V = 21.19

FREIFAHRTDIAGRAMM P/D = 1.095 Z = 4 AE/A0 = 0.550  
 RN : 4.635E+07

J	KT	10KQ	ETA0	CT	CTH
0.00	0.5894	0.4843	0.0000	999.999	999.999
0.10	0.5268	0.4748	0.1766	52.665	134.110
0.20	0.4642	0.4629	0.3192	11.604	29.549
0.30	0.4058	0.4470	0.4334	4.508	11.480
0.40	0.3511	0.4294	0.5255	2.195	5.588
0.50	0.2970	0.3960	0.5968	1.188	3.025
0.60	0.2396	0.3569	0.6394	0.663	1.688
0.70	0.1715	0.3063	0.6237	0.350	0.891
0.80	0.0927	0.2426	0.4864	0.145	0.369
0.90	0.0024	0.1646	0.0211	0.003	0.008
1.00	-0.0943	0.0717	-2.0927	-0.094	-0.240

Tabelle 2: Propulsions-Prognose-Rechnung für ein Frachtschiff für Probefahrt und Dienstfahrt

Coefficients and terms of the  $K_T$  and  $K_Q$  polynomials for the Wageningen B-screw  
Series for  $R_n = 2 \times 10^6$ .

$K_T = \sum C_{s,t,u,v} (J)^s (P/D)^t (A_E/A_0)^u (z')^v$		$K_Q = \sum C_{s,t,u,v} (J)^s (P/D)^t (A_E/A_0)^u (z')^v$							
$K_T: C_{s,t,u,v}$	s (J)	t (P/D)	u ( $A_E/A_0$ )	v (z)	$K_Q: C_{s,t,u,v}$	s (J)	t (P/D)	u ( $A_E/A_0$ )	v (z)
-0.00880496	0	0	0	0	-0.00379368	0	0	0	0
-0.204554	1	0	0	0	-0.00886523	2	0	0	0
+0.166351	0	1	0	0	-0.032241	1	1	0	0
+0.158114	0	2	0	0	+0.00344778	0	2	0	0
-0.147581	2	0	1	0	-0.0408811	0	1	1	0
-0.481497	1	1	1	0	-0.108009	1	1	1	0
+0.415437	0	2	1	0	-0.0885381	2	1	1	0
-0.0144043	0	0	0	1	+0.188561	0	2	1	0
-0.053.754	2	0	0	1	-0.00370871	1	0	0	1
+0.0143481	0	1	0	1	+0.00513696	0	1	0	1
+0.0606826	1	1	0	1	-0.0209449	1	1	0	1
-0.0125894	0	0	1	1	-0.00474319	2	1	0	1
+0.0109689	1	0	1	1	-0.00723408	2	0	1	1
-0.133698	0	3	0	0	+0.00438388	1	1	1	1
+0.00638407	0	6	0	0	-0.0269403	0	2	1	1
-0.00132718	2	6	0	0	+0.0558082	3	0	1	0
+0.168496	3	0	1	0	+0.0161886	0	3	1	0
-0.0507214	0	0	2	0	+0.00318086	1	3	1	0
+0.0854559	2	0	2	0	+0.015896	0	0	2	0
-0.0504475	3	0	2	0	-0.0471729	1	0	2	0
+0.010465	1	6	2	0	+0.0196283	3	0	2	0
-0.00648272	2	6	2	0	-0.0502782	0	1	2	0
-0.00841728	0	3	0	1	-0.030055	3	1	2	0
+0.0168424	1	3	0	1	+0.0417122	2	2	2	0
-0.00102296	3	3	0	1	-0.0397722	0	3	2	0
-0.0317791	0	3	1	1	-0.00350024	0	6	2	0
+0.018604	1	0	2	1	-0.0106854	3	0	0	1
-0.00410798	0	2	2	1	-0.00110903	3	3	0	1
-0.000606348	0	0	0	2	-0.000313912	0	6	0	1
-0.0-49819	1	0	0	2	+0.0035985	3	0	1	1
+0.0025933	2	0	0	2	-0.00142121	0	6	1	1
-0.000560528	3	0	0	2	-0.00383637	1	0	2	1
-0.00163652	1	2	0	2	+0.0126803	0	2	2	1
-0.000328787	1	6	0	2	-0.00318278	2	3	2	1
+0.000116502	2	6	0	2	+0.00334268	0	6	2	1
+0.000690904	0	0	1	2	-0.00183491	1	1	0	2
+0.00421749	0	3	1	2	-0.000112451	3	2	0	2
+0.0000565229	3	6	1	2	-0.0000297228	3	6	0	2
-0.00146564	0	3	2	2	+0.000269551	1	0	1	2
					+0.00083265	2	0	1	2
					+0.00155334	0	2	1	2
					+0.000302683	0	6	1	2
					-0.0001843	0	0	2	2
					-0.000425399	0	3	2	2
					+0.0000869243	3	3	2	2
					-0.0004659	0	6	2	2
					+0.0000554194	1	6	2	2

$R_n = 2 \times 10^6$

Tabelle 3: Polynomkoeffizienten  $K_T$  und  $K_Q$  der Propeller Wageningen B - 1975 für  $R_n = 2 \times 10^6$ , aus /6/

Polynomials for Reynolds number effect  
(above  $R_n = 2 \times 10^6$ ) on  $K_T$  and  $K_Q$ .

$$\begin{aligned} \Delta K_T = & 0.000353485 \\ & -0.00333758(A_E/A_O)J^2 \\ & -0.00478125(A_E/A_O)(P/D)J \\ & +0.000257792(\log R_n - 0.301)^2 (A_E/A_O)J^2 \\ & -0.0000643192(\log R_n - 0.301)(P/D)^6 J^2 \\ & -0.0000110636(\log R_n - 0.301)^2 (P/D)^6 J^2 \\ & -0.0000276305(\log R_n - 0.301)^2 z(A_E/A_O)J^2 \\ & +0.0000954(\log R_n - 0.301)z(A_E/A_O)(P/D)J \\ & +0.0000032049(\log R_n - 0.301)z^2(A_E/A_O)(P/D)^3 J \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta K_Q = & -0.000591412 \\ & -0.00696898(P/D) \\ & -0.0000666654z(P/D)^6 \\ & +0.0160818(A_E/A_O)^2 \\ & -0.000938091(\log R_n - 0.301)(P/D) \\ & -0.00059593(\log R_n - 0.301)(P/D)^2 \\ & +0.0000782099(\log R_n - 0.301)^2 (P/D)^2 \\ & +0.0000052199(\log R_n - 0.301)z(A_E/A_O)J^2 \\ & -0.0000088528(\log R_n - 0.301)^2 z(A_E/A_O)(P/D)J \\ & -0.0000230171(\log R_n - 0.301)z(P/D)^6 \\ & -0.00000184341(\log R_n - 0.301)^2 z(P/D)^6 \\ & -0.00400252(\log R_n - 0.301)(A_E/A_O)^2 \\ & +0.000220915(\log R_n - 0.301)^2 (A_E/A_O)^2 \end{aligned}$$

Tabelle 4: Polynomkoeffizienten  $\Delta K_T$  und  $\Delta K_Q$   
der Propeller Wageningen B - 1975  
aus /6/

#### Autorenverzeichnis

Dipl.-Ing. J. Seils: ehemals Universität Rostock, Fachbereich Maschinenbau und Schiffstechnik; Institut für Schiffbau und Meerestechnik, 18051 Rostock, Paketpost 18055 Rostock

Dipl.-Ing. K.-H. Labes: Schiffbauversuchsanstalt Potsdam GmbH, Marquardter Chaussee 100, 14469 Potsdam

Prof. Dr. H. Buttler: ehemals Universität Rostock, Fachbereich Maschinenbau und Schiffstechnik; Institut für Schiffbau und Meerestechnik, 18051 Rostock, Paketpost 18055 Rostock

Dipl.-Ing. F. Mewis: Schiffbauversuchsanstalt Potsdam GmbH, Marquardter Chaussee 100, 14469 Potsdam

Dipl.-Ing. J. Heinke: Schiffbauversuchsanstalt Potsdam GmbH, Marquardter Chaussee 100, 14469 Potsdam

Dipl.-Ing. R. Herber: Universität Hamburg, Bundesstraße 55, 20146 Hamburg

Prof. Dr. W. Weigel: Universität Hamburg, Bundesstraße 55, 20146 Hamburg

K. Schleisiek-Kern: DELTA t - Entwicklungsgesellschaft für computergesteuerte Echtzeitsysteme mbH, Adenauerallee 54, 20097 Hamburg

## Schiffbau-Oberingenieur Dr. Henschke verstorben

Am 18. September verstarb Dr.-Ing. e. h. Werner Henschke, der Gründer der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam, nach kurzer schwerer Krankheit im 88. Lebensjahr. Henschke ist in Schiffbauerkreisen weltweit als Herausgeber des Schiffbautechnischen Handbuches, das in zwei Auflagen 1952 und 1957 erschien, bekannt geworden.

Am 26. Juli 1906 geboren, zeigte er schon in seiner Jugend reges Interesse am Bootsbau. So schloß sich an seinen Schulbesuch in Berlin ein Schiffbaustudium an den Technischen Staatslehranstalten in Hamburg an. Danach war er als Volontär in einer Berliner Bootswerft tätig. Von 1926 bis 1936 finden wir ihn als Versuchingenieur in der Preussischen Versuchsanstalt für Wasser-, Erd- und Schiffbau in Berlin (heute VWS), wo er unter G. Weinblum und F. Gutsche arbeitete. Herausragendes Ergebnis seiner damaligen Arbeit war ein Vortrag zum Thema „35 Jahre Motorschnellboote“ anlässlich der 36. Hauptversammlung der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1936 in Berlin.

In der Zeit von 1936 bis 1945 war Dr. Henschke in Berlin beim Marinekonstruktionsamt tätig. Sein Aufgabengebiet umfaßte Motorschnellboote sowie in Zusammenarbeit mit H. Amtsberg die Koordination der Arbeiten für die Marine in den Schiffbau-Versuchsanstalten in Berlin, Hamburg und in Wien, mit den damaligen Leitern H. M. Weitbrecht, G. Kempf und L. Kretschmer. Nach dem Krieg finden wir Dr. Henschke zunächst in einem sowjetischen Konstruktionsbüro, in dem er als deutscher Spezialist sein Wissen „zur Verfügung stellte“. Von 1945 bis 1952 wirkte er als Oberreferent im Ministerium für Lebensmittelindustrie am Aufbau der DDR-Fischereiindustrie mit, bevor er 1952 den Auftrag zur Projektierung, zum Aufbau und zur Leitung einer Schiffbau-Versuchsanstalt übernahm, deren Grundstein am 12. August 1953 gelegt wurde und die bereits am 22. Dezember 1954 den Versuchsbetrieb aufnahm. Ihre Leitung hatte er bis zu seiner Pensionierung im Jahre 1971 inne. Sein engster Mitarbeiter in dieser Zeit war Dr.-Ing. F. Gutsche.

Neben der Herausgabe des Schiffbautechnischen Handbuches, dem „Henschke“, sollen hier seine Verdienste bei der Profilierung der gesamten Schiffbauforschung der DDR erwähnt werden. Als Mitglied des Forschungsrates und langjähriger Vorsitzender des Fachausschusses Schiffstechnik sowie als Präsidiumsmitglied der KDT war er maßgebend an der Gestaltung der Schiffbauforschung in der DDR beteiligt.

Dr. Henschke hat während der vielen Jahre seit seiner Pensionierung den engen Kontakt zu seiner Schiffbau-Versuchsanstalt und deren Mitarbeitern immer aufrecht erhalten und sie speziell in den schwierigen Zeiten seit der Wiedervereinigung durch Einsatz seiner Person unterstützt. Für ihn war es innere Genugtuung, daß sein Name bei Schiffbau-Studenten im Westen und im Osten Deutschlands gleichermaßen bekannt war und ist. Das anlässlich seines 85. Geburtstages 1991 in der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam veranstaltete Ehrenkolloquium war beredter Ausdruck dafür. Möge es über seinen Tod hinaus so bleiben.

Wolfgang Selke