

## Symbolverzeichnis

$A$	$m^2$	Fläche allgemein	
$A_{\text{Frei}}$	$m^2$	Anteil der Ruderfläche in freier Anströmung	
$A_{\text{Prop}}$	$m^2$	Anteil der Ruderfläche im Propellerstrahl	$A_{\text{Frei}} = (b - D \cdot e_p) \cdot c_m$ $A_{\text{Prop}} = D \cdot e_p \cdot c_m$
$A_R$	$m^2$	Ruderfläche	
$A_0$	$m^2$	Propellerkreisfläche	$A_0 = p \cdot D^2 / 4$
$a_0, a_7,$ $a_8, a_9$	-	Koeffizienten für den Querwiderstandsbeiwert $C_{\text{CFD}}$	
$b$	m	mittlere Ruderhöhe	
$B$	m	Schiffsbreite	
$B_{\text{üa}}$	m	Breite über alles	
$C_{\text{CFD}}$	-	Querwiderstandsbeiwert bei 4-Quadranten-Modell	
$C_{\text{DR}}$	-	Ruderwiderstandsbeiwert	
$C_{\text{LR}}$	-	Ruderauftriebsbeiwert	
$C_Q^*$	-	Propellermomentenkennwert	
			$C_Q^* = \frac{Q}{r/2 \cdot A_0 \cdot D \cdot (u_p^2 + (0.7 \cdot p \cdot n \cdot D)^2)} = \frac{K_Q \cdot 8/p}{J^2 + (0.7 \cdot p)^2}$
$C_T^*$	-	Propellerschubkennwert	
			$C_T^* = \frac{Q}{r/2 \cdot A_0 \cdot (u_p^2 + (0.7 \cdot p \cdot n \cdot D)^2)} = \frac{K_T \cdot 8/p}{J^2 + (0.7 \cdot p)^2}$
$C_{\text{Th}}$	-	Schubbelastungsgrad	$C_{\text{Th}} = \frac{T}{r/2 \cdot u_p^2 \cdot A_0}$
$c, c'$	-	Beiwerte für den Hull-Lifting-Effekt im 4-Quadranten-Modell	
$c_m$	m	mittlere Profillänge des Ruders	
$c_0$	-	Tiefwasserbeiwert für die Polynomdarstellung hydrodynamischer Koeffizienten	
$c_n$	-	Flachwasserbeiwert für die Polynomdarstellung hydrodynamischer Koeffizienten	
$c_p$	m	Umfangsgeschwindigkeit des Propellers bei 0.7 des Radius	$c_p = 0.7 \cdot p \cdot D$
$D$	m	Propellerdurchmesser	
$D_T$	m	Taktischer Durchmesser beim Drehkreis	
$d$	°	Ruderwinkel (teilweise anstelle von $d_R$ verwendet)	
$d_0$	°	Ruderwinkel bei Beginn des Manövers, neutraler Ruderwinkel	
$d, d'$	-	Beiwerte für den Hull-Lifting-Effekt im 4-Quadranten-Modell	
$e, e'$	-	Beiwerte für den Hull-Lifting-Effekt im 4-Quadranten-Modell	

$e_p$	-	Einschnürungsfaktor für den Propellerstrahl an der Rudervorkante	
$F$	N	Kraft allgemein	
$F_D$	N	Drag (Widerstand im ruderfesten System)	
$F_L$	N	Lift (Auftrieb im ruderfesten System)	
$F_n$	-	Froude-Zahl	$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$
$F_{nh}$	-	Froude-Tiefenzahl	$F_{nh} = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}}$
$F_R$	N	Betrag der Ruderkraft im ruderfesten System	
$G$	-	Gewichtsschwerpunkt	
$g$	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung	
$h$	m	Wassertiefe	
$I_{zz}$	kgm <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment um die $z$ -Achse	
$J$	-	Fortschrittsgrad des Propellers	$J = \frac{u_p}{n \cdot D}$
$K$	Nm	Rollmoment um die $x$ -Achse	
$K_Q$	-	Momentenbeiwert des Propellers	$K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5}$
$K_T$	-	Schubbeiwert des Propellers	$K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4}$
$k_{DR}$	-	Verstärkungsfaktor zur Berechnung des Ruderwiderstandes	
$k_{HR}$	-	Faktor zur Berücksichtigung der Strömungsbegradigung bei der Ruderanströmung	
$k_{LR}$	-	Verstärkungsfaktor zur Berechnung der Ruderauftriebskraft	
$k_{NR}$	-	Verstärkungsfaktor zur Berechnung der Rudermoments	
$k_{PR}$	-	Faktor zur Berechnung der Ruderanströmungsgeschwindigkeit nach Gutsche	
$k_{zz}$	m	Trägheitsradius um die $z$ -Achse, auch $i$	
$L$	m	Schiffslänge	
$L_{pp}$	m	Länge zwischen den Loten	
$m$	kg	Masse	
$M$	Nm	Trimmmoment um die $y$ -Achse	
$M_x$	Nm	Moment um die $x$ -Achse, auch $K$	
$M_y$	Nm	Moment um die $y$ -Achse, auch $M$	
$M_z$	Nm	Moment um die $z$ -Achse, auch $N$	
$N$	Nm	Giermoment um die $z$ -Achse	
$N_{Ges}$	Nm	Summe der Längskräfte am Schiff	$N_{Ges} = N_{Hyd} + N_T$
$N_H$	Nm	Drehmoment am Schiff ( <b>Hull</b> ) durch Strömungswirkung in Abhängigkeit von $v$ und $r$	

## Anhang A : Symbolverzeichnis

$N_{HC}$	Nm	Drehmoment am Schiff durch <b>Hull-Crossflow-Effekt</b>	
$N_{HL}$	Nm	Drehmoment am Schiff durch <b>Hull-Lifting-Effekt</b>	
$N_{Hyd}$	Nm	Summe der hydrodynamischen Momente am Schiff	
$N_I$	Nm	Drehmoment am Schiff durch Effekte der "Idealen Flüssigkeit"	
$N_P$	Nm	Drehmoment am Schiff durch <b>Propellerwirkung</b>	
$N_{PT_{vor}}$	-	Faktor zur Berechnung des steuenden Moments des <b>Propellers</b> bei Vorwärtsfahrt	
$N_{PT_{zur}}$	-	Faktor zur Berechnung des steuenden Moments des <b>Propellers</b> bei Rückwärtsfahrt	
$N_R$	Nm	Drehmoment am Schiff durch <b>Ruderwirkung</b>	
$N_S$	Nm	Drehmoment am Schiff durch <b>Strömungswirkung</b> allgemein	
$N_{Schaft}$	Nm	Drehmoment am Ruderschaft durch Strömungswirkung	
$N_T$	Nm	Summe der Drehmomente am Schiff durch <b>Trägheitwirkung</b>	
$N_W$	Nm	Drehmoment am Schiff durch Strömungswirkung in Abhängigkeit von $u$ ( <b>Widerstand</b> )	
$n$	-	Exponent für die Polynomdarstellung hydrodynamischer Koeffizienten	
$n$	1/s	Propellerdrehrate	
$n_R$	-	Anzahl Ruder	
$n_P$	-	Anzahl Propeller	
$O$	-	Ursprung des schiffsfesten Systems (Hauptspant mittschiffs)	
$O_0$	-	Ursprung des erdfesten Systems	
$P_D$	W	Propellerdrehleistung im Propulsionsversuch	
$P_E$	W	Schleppleistung im Widerstandsversuch	
$p$	N/m <sup>2</sup>	Druck	
$p$	°/s	Drehgeschwindigkeit (Rotation um die $x$ -Achse)	
$q$	°/s	Drehgeschwindigkeit (Rotation um die $y$ -Achse)	
$R$	m	Radius des Propellers	
$R_c$	m	Drehkreisradius	
$R_T$	N	Widerstand (Schiffskraft in $x$ -Richtung)	
$R_n$	-	Reynoldszahl	$R_n = \frac{V \cdot L_{pp}}{\nu}$
$r$	°/s	Drehgeschwindigkeit (Rotation um die $z$ -Achse)	
$\dot{r}$	°/s <sup>2</sup>	Änderungsrate der Drehgeschwindigkeit (Drehbeschleunigung)	
$r_{max}$	°/s	Maximale Drehgeschwindigkeit beim Z-Manöver, auch $\dot{y}_{max}$	
$T$	m	mittlerer Tiefgang	
$T$	N	Propellerschub	
$T_a$	m	Tiefgang am hinteren Lot	
$T_f$	m	Tiefgang am vorderen Lot	
$t$	-	Sogziffer	$t = (T - R_T)/T$
$t$	s	Zeit allgemein	

$t_a$	s	Anschwenkzeit beim Z-Manöver	
$t_{c1}$	s	Erste Stützzeit beim Z-Manöver	
$t_{c2}$	s	Zweite Stützzeit beim Z-Manöver	
$t_{hc}$	s	Kursschwingungsperiode beim Z-Manöver, auch $T$	
$t_r$	s	Ausweichzeit beim Z-Manöver	
$u$	m/s	Längsgeschwindigkeit (Translation in $x$ -Richtung)	
$u$	m/s		
$u_p$	m/s	Anströmgeschwindigkeit des Propellers in $x$ -Richtung	$u_p = u \cdot (1 - w)$
$u_{p\infty}$	m/s	Asymptotische axiale Zusatzgeschwindigkeit des Propellerstrahls im Unendlichen	
$u_R$	m/s	Anströmgeschwindigkeit des Ruders in $x$ -Richtung außerhalb des Propellerstrahls	$u_R = u \cdot (1 - w_R)$
$u_{RP}$	m/s	Anströmgeschwindigkeit des Ruders in $x$ -Richtung im Propellerstrahl	
$\bar{u}_R$	m/s	Mittlere Anströmgeschwindigkeit des Ruders in $x$ -Richtung beim 4-Quadranten-Modell	
$\dot{u}$	m/s <sup>2</sup>	Änderungsrate der Längsgeschwindigkeit (Längsbeschleunigung)	
$V$	m/s	Geschwindigkeit allgemein	
$V$	m/s	Gesamtgeschwindigkeit des Schiffes	$V = \sqrt{u^2 + v^2}$
$V_0$	m/s	Ausgangsgeschwindigkeit des Schiffes, auch $U_0$	
$V_R$	m/s	Gesamtanströmgeschwindigkeit des Ruders	
$\nabla$	m <sup>3</sup>	Verdrängung	
$v$	m/s	Seitengeschwindigkeit (Translation in $y$ -Richtung)	
$v_0$	m/s	Seitengeschwindigkeit bei Beginn des Manövers, neutrale Seitengeschwindigkeit	
$v_R$	m/s	Anströmgeschwindigkeit des Ruders in $y$ -Richtung	
$\dot{v}$	m/s <sup>2</sup>	Änderungsrate der Seitengeschwindigkeit (Seitenbeschleunigung)	
$w$	-	Nachstromziffer	
$w$	m/s	Vertikalgeschwindigkeit (Translation in $z$ -Richtung)	
$w_R$	-	Nachstromziffer am Ort des Ruders	
$X$	N	Längskraft im schiffsfesten System	
$X_{Ges}$	N	Summe der Längskräfte am Schiff	$X_{Ges} = X_{Hyd} + X_T$
$X_H$	N	Längskraft am Schiff ( <b>Hull</b> ) durch Strömungswirkung in Abhängigkeit von $v$ und $r$	
$X_{HL}$	N	Längskraft am Schiff durch <b>Hull-Lifting-Effekt</b>	
$X_{Hyd}$	N	Summe der hydrodynamischen Längskräfte am Schiff	
$X_I$	N	Längskraft am Schiff durch Effekte der "Idealen Flüssigkeit"	
$X_P$	N	Längskraft am Schiff durch <b>Propellerwirkung</b>	

## Anhang A : Symbolverzeichnis

---

$X_R$	N	Längskraft am Schiff durch <b>R</b> uderwirkung
$X_S$	N	Längskraft am Schiff durch <b>S</b> trömungswirkung allgemein
$X_T$	N	Summe der Längskräfte am Schiff durch <b>T</b> rägheitwirkung
$X_W$	N	Längskraft am Schiff durch Strömungswirkung in Abhängigkeit von $u$ ( <b>W</b> iderstand)
$x$	m	Längskoordinate im schiffsfesten System (positiv nach vorne)
$x_0$	m	Wegkoordinate im erdfesten System (positiv nach Norden)
$x_{090}$	m	Vorausweg (Kurs 90°) beim Drehkreis
$x_{0max}$	m	maximaler Längsweg beim Drehkreis
$x_G$	m	$x$ -Koordinate des Gewichtsschwerpunktes im schiffsfesten System
$x_R$	m	$x$ -Koordinate der Ruderachse im schiffsfesten System
$Y$	N	Seitenkraft im schiffsfesten System
$Y_{Ges}$	N	Summe der Seitenkräfte am Schiff $Y_{Ges} = Y_{Hyd} + Y_T$
$Y_H$	N	Seitenkraft am Schiff ( <b>H</b> ull) durch Strömungswirkung in Abhängigkeit von $v$ und $r$
$Y_{HC}$	N	Seitenkraft am Schiff durch <b>H</b> ull- <b>C</b> rossflow-Effekt
$Y_{HL}$	N	Seitenkraft am Schiff durch <b>H</b> ull- <b>L</b> ifting-Effekt
$Y_{Hyd}$	N	Summe der hydrodynamischen Seitenkräfte am Schiff
$Y_I$	N	Seitenkraft am Schiff durch Effekte der "Idealen Flüssigkeit"
$Y_P$	N	Seitenkraft am Schiff durch <b>P</b> ropellerwirkung
$Y_{PT_{vor}}$	-	Faktor zur Berechnung der steuernden Seitenkraft des Propellers bei Vorwärtsfahrt
$Y_{PT_{zur}}$	-	Faktor zur Berechnung der steuernden Seitenkraft des Propellers bei Rückwärtsfahrt
$Y_R$	N	Seitenkraft am Schiff durch <b>R</b> uderwirkung
$Y_S$	N	Seitenkraft am Schiff durch <b>S</b> trömungswirkung allgemein
$Y_T$	N	Summe der Seitenkräfte am Schiff durch <b>T</b> rägheitwirkung
$Y_W$	N	Seitenkraft am Schiff durch Strömungswirkung in Abhängigkeit von $u$ ( <b>W</b> iderstand)
$y$	m	Seitenkoordinate im schiffsfesten System (positiv nach Steuerbord)
$y_0$	m	Wegkoordinate im erdfesten System (positiv nach Osten)
$y_{0max}$	m	maximaler Querweg beim Z-Manöver
$y_{0max}$	m	maximaler Querweg beim Drehkreis
$y_{0180}$	m	Taktischer Durchmesser beim Drehkreis
$y_{090}$	m	Querversatz (Kurs 90°) beim Drehkreis
$y_G$	m	$y$ -Koordinate des Gewichtsschwerpunktes im schiffsfesten System
$z$	m	Tiefenkoordinate im schiffsfesten System (positiv nach unten)
$z_0$	m	Wegkoordinate im erdfesten System (positiv nach unten)

$z_G$	m	$z$ -Koordinate des Gewichtsschwerpunktes im schiffsfesten System	
$b$	°	Driftwinkel (positiv gegen den Uhrzeigersinn)	$b = \text{atan}\left(\frac{-v}{u}\right)$
$b_0$	°	Driftwinkel bei Beginn des Manövers, neutraler Driftwinkel	
$b_{RP}$	°	lokaler Anströmwinkel des Ruders im Propellerstrahl	$b_P = b_R \cdot p_P$
$b_R$	°	lokaler Anströmwinkel des Ruders (freie Strömung)	$b_R = \text{atan}\left(\frac{-v_R}{u_R}\right)$
$d$	°	Ruderwinkel allgemein	
$d_e$	°	effektiver Ruderwinkel im Nachstromfeld	$d_e = d_R + b_R$
$d_e^*$	°	effektiver Ruderwinkel im Propellerstrahl	$d_e^* = d_R + b_{RP}$
$d_R$	°	Ruderwinkel	
$d_{R0}$	°	Ruderwinkel bei Beginn des Manövers, neutraler Ruderwinkel	
$d_{Rmax}$	°	Maximaler Ruderwinkel beim Manöver	
$\dot{d}_R$	°/s	Ruderlegegeschwindigkeit	
$\Delta u$	m/s	Geschwindigkeitsüberschuß, Geschwindigkeitsdifferenz	
$\Delta t$	s	Simulationstakt	
$\Delta X$	N	Schubüberschuß, Schubdifferenz	
$e$	°	Propellerfortschrittswinkel	$e = \text{atan}\left(\frac{u_P}{0.7 \cdot p \cdot n \cdot D}\right) = \text{atan}\left(\frac{J}{0.7 \cdot p}\right)$
$e_{max}$	°	Propellerfortschrittswinkel, bei dem $C_T^* = 0$ wird	
$n$	m <sup>2</sup> /s	Kinematische Zähigkeit	
$y$	°	Kurswinkel (positiv gegen den Uhrzeigersinn)	
$y_{01}$	°	Erster Überschwinkwinkel beim Z-Manöver	
$y_{02}$	°	Zweiter Überschwinkwinkel beim Z-Manöver	
$y_S$	°	Schaltwinkel (Stützwinkel) beim Z-Manöver	
$\dot{y}_{max}$	°/s	maximale Drehgeschwindigkeit beim Z-Manöver, auch $r_{max}$	
$r$	kg/m <sup>3</sup>	Dichte	

## Literaturverzeichnis

- Abkowitz, M.A. (1964): *Lectures on Ship Hydrodynamics - Steering and Manoeuvrability*. Hydro- og Aerodynamisk Laboratorium, Report No. Hy-5, Lyngby / Dänemark
- Ankudinov, V. & Miller, E. & Jakobsen, B. & Daggett, L. (1990): *Manoeuvring Performance of Tug/Barge Assemblies in Restricted Waterways*. Proceedings MARSIM '90, Tokyo / Japan
- Ankudinov, V. (1993): *Assessment and Principle Structure of the Modular Mathematical Model for Ship Manoeuvres Prediction and Real-Time Manoeuvring Simulation*. Proceedings MARSIM '93, St. John's / Kanada
- Baumgarten, B. (1989): *Ermittlung der Ruderkräfte und -momente bei unterschiedlichen Geschwindigkeits-Drehzahl-Relationen für verschiedene Schiffstypen (Nachstromfelder)*. VBD-Bericht Nr. 1231, Duisburg
- Bech, M.I. (1973): *Some Aspects of the Stability of Automatic Course Control of Ships*. Hydro- og Aerodynamisk Laboratorium, Report No. Hy-16, Lyngby / Dänemark
- Booth, T.B. & Bishop, R.E.D (1973): *The Planar Motion Mechanism*. Admiralty Experiment Works, Haslar / Großbritannien
- BV 0571 : *Richtlinien für die Durchführung von Modellversuchen für Über- und Unterwasserschiffe der Bundeswehr*. BWB-SG I 4, Koblenz
- Chislett, M.S. & Smitt, L. (1973): *A Brief description of the HyA Large Amplitude PMM System*. Hydro- og Aerodynamisk Laboratorium, Report No. Hy-16, Lyngby / Dänemark
- Chislett, M.S. & Strøm-Tejsten, J. (1965): *Planar Motion Mechanism Tests and Full Scale Steering and Manoeuvring Predictions for a MARINER Class Vessel*. Hydro- og Aerodynamisk Laboratorium, Report No. Hy-6, Lyngby / Dänemark

- Clarke, D. & Gedling, P. & Hine, G. (1983): *The Application of Manoeuvring Criteria in Hull Design using Linear Theory*. TRINA 125
- DUDEN (1991): *Die deutsche Rechtsschreibung*, Bibliographisches Institut, Mannheim
- Fujino, M. (1986): *Experimental Studies on Ship Manoeuvrability in Restricted Waters, Part I & II*. International Shipbuilding Progress, Vol. 15, No. 168
- Gertler, M. (1959): *The DTMB Planar-Motion-Mechanism System*. Symposium on Towing Tank Facilities, Zagreb / Jugoslawien
- Grim, O. & Oltmann, P. & Sharma, S.D. & Wolff, K (1976): *CPMC - A Novel Facility for Planar motion Testing of Surface Ship Models*. Institut für Schiffbau, Bericht Nr. 364, Hamburg
- Goodman, A. (1960): *Experimental Techniques and Methods of Analysis Used in Submerged Body Research*. Proceedings 3rd ONR Symposium on Naval Hydrodynamics, Scheveningen / Niederland
- Gronarz, A. (1986): *Beschaffung und Erprobung einer PMM-Anlage*. VBD-Bericht Nr. 1157, Duisburg
- Gronarz, A. (1988): *Manövrierverhalten völliger Schiffe auf begrenzter Wassertiefe*. VBD-Bericht Nr. 1226, Duisburg
- Gronarz, A. (1989): *PMM-Versuche mit dem Modell eines Motorgüterschiffes auf verschiedenen Wassertiefen*. VBD-Bericht Nr. 1243, Duisburg
- Gronarz, A. (1990): *Ermittlung der hydrodynamischen Koeffizienten zur Manövrier-simulation von Schubverbänden*. VBD-Bericht Nr. 1286, Duisburg
- Gronarz, A. (1992): *Manövrierverhalten schlanker Schiffe auf begrenzter Wassertiefe*. VBD-Bericht Nr. 1322, Duisburg
- Gronarz, A. (1993): *A Mathematical Model for Manoeuvring Simulation on Shallow Water*. Proceedings MARSIM '93, St. John's / Kanada



- Gutsche, F. (1955): *Die Induktion der axialen Strahlzusatzgeschwindigkeit in der Umgebung der Schraubenebene*. Heft 12/13, Schiffstechnik
- Hess, F. (1977): *Rudder Effectiveness and Course-Keeping Stability in Shallow Water: A Theoretical Model*. International Shipbuilding Progress 24, S. 206
- IMO (1993) : *Manoeuvrability of Ships and Manoeuvring Standards*. International Maritime Organisation, Report of the working group, IMO Document DE 36/Wp.3
- Jiang, T. (1991): *Untersuchung nichtlinearer Schiffsdynamik mit Auftreten von Instabilität und Chaos an Beispielen aus der Offshoretechnik*. Dissertation am Institut für Schiffbau, Bericht Nr. 512, Hamburg
- Kijima, K. & Nakiri, Y. & Tsutsui, Y. & Matsunaga, M. (1990): *Prediction Method of Ship Manoeuvrability in Deep and Shallow Waters*. Proceedings MARSIM '90, Tokyo / Japan
- Mandel, P. (1967): *Ship Maneuvring and Control - Linear Equations of Motion*. In : Principles of Naval Architecture, SNAME, New York / USA
- Meyer, W. (1990) : *Programm zur Berechnung der Spiralkurve*. Diplomarbeit UNI-GH Duisburg, Fachgebiet Schiffstechnik
- MIT / Newman, J.N. (1991): *WAMIT - A Radiation-Diffraction Panel Program for Wave-Body Interactions*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge / USA
- Morse, R.V. & Price, D. (1961): *Maneuving Characteristics in the Mariner Class Ship in Calm Seas*. Sperry Gyroscope Company Report, GJ-2233-1019, USA
- Nomoto, K. (1957): *Response Analysis of Manoeuvrability and its Application to Ship Design*. Society of Naval Architects Japan (SNAJ), 60th Anniversary Series, Vol. 11, Tokyo / Japan
- Norrbin, N. (1970): *Theory and Observation on the Use of a Mathematical Model for Ship Maneuvering in Deep and Confined Waters*. Proceedings 8th ONR-

Symposium on Naval Hydrodynamics, Pasadena CA/USA, 1970 und SSPA-Publication 68, Göteborg/Schweden

Oltmann, P. & Wolff, K. (1976): "*Computerized Planar Motion Carriage*" - *Anlagenbeschreibung und erste Betriebserfahrungen*. Jahrbuch der STG, Band 70, Hamburg

Oltmann, P. (1978): *Parameterstudie zu den Bewegungsgleichungen für horizontale Schiffsbewegungen*. Institut für Schiffbau der Universität Hamburg, Schrift Nr. 2307, Hamburg

Oltmann, P. & Sharma, S.D. (1984): *Simulation of Combined Engine and Rudder Maneuvers using an Improved Model of Hull-Propeller-Rudder Interactions*. 15. ONR-Symposium, Hamburg

Oltmann, P. (1986a): *Untersuchung zur Korrelation von Manövrierversuchen bei völligen Schiffen*, HSVA - Bericht Nr. 1551, Hamburg

Oltmann, P. (1986b): *Rechnersimulation von Schiffsmanövern*. In: Handbuch der Werften XVIII, Manövrierfähigkeit und Steuerorgane, Hamburg

Oltmann, P. (1986c): *Rechnersimulation von Schiffsmanövern*. S. 79 in: Handbuch der Werften XVIII, Manövrierfähigkeit und Steuerorgane, Hamburg

Oltmann, P. & Wolff, K. & Müller, E. & Baumgarten, B. (1986): *Zur Korrelation Modell-Großausführung bei Manövrierversuchen auf tiefem und flachem Wasser*. Jahrbuch der STG Nr. 80

Oltmann, P. & Wolff, K. (1989): *Untersuchung zur Korrelation Modell / Großausführung bei Manövrierversuchen mit einem Containerschiff*. HSVA-Bericht Nr. 1566, Hamburg

Sharma, S.D. & Jiang, T. & Schellin, T.E. (1988): *Dynamic Instability and Chaotic Motions of a Single-Point-Moored Tanker*. 17. Symposium on Naval Hydrodynamics, Den Haag / Niederland

- SNAME, (1952): *Nomenclature for Treating the Motion of a Submerged Body Through a Fluid*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York / USA
- Smitt, L.W. (1967): *The Reversed Spiral Test*. Hydro- og Aerodynamisk Laboratorium, Report No. Hy-10, Lyngby / Dänemark
- Söding, H. (1986): *Bewegungsgleichungen*. S. 28 in: Handbuch der Werften XVIII, Manövrierfähigkeit und Steuerorgane, Hamburg
- Spalding, D.B. & Pantakar, S.V. (1974) : *A Calculation Procedure for Heat, Mass and Momentum Transfer in Three-Dimensional Parabolic Flows*. International Journal for Heat and Momentum Transfer, Vol. 15
- Spalding, D.B. (1991) : *The PHOENICS Beginners Guide*. CHAM TR 100, London
- Strøm-Tejse, J. (1965): *A Digital Computer Technique for Prediction of Standard Maneuvres of Surface Ships*. DTMB-Report No. 2130, Washington / USA
- Strøm-Tejse, J. & Chislett, M.S. (1966): *A Model Testing Technique and Method of Analysis for the Prediction of Steering and Manoeuvring Qualities of Surface Vessels*. Hydro- og Aerodynamisk Laboratorium, Report No. Hy-7, Lyngby / Dänemark
- VG 81 208 (1986) : *Manövrieren von Schiffen*. Normenstelle der Marine im DIN, Beuth Verlag, Köln
- Wagner, B. (1986): *Ruderentwurf*. In: Handbuch der Werften XVIII, Manövrierfähigkeit und Steuerorgane, Hamburg
- Wolff, K. (1981): *Ermittlung der Manöviereigenschaften fünf repräsentativer Schiffstypen mit Hilfe von CPMC-Versuchen*. IfS-Bericht Nr. 412, Hamburg
- Zhao, Y.-X. (1986): *Hydrodynamische Kräfte an manövrierenden Schiffen auf flachem Wasser*. IfS-Bericht Nr. 466, Hamburg

---

## **Tabellenverzeichnis**

---

Tab.	Titel
2-1	Gegenüberstellung der verschiedenen Darstellungen für die dimensionslose Wassertiefe
3-1	Statische Modellversuche
3-2	Dynamische Modellversuche
3-3	Gittervariation beim Testschiff
3-4	Ergebnisse bei Variation der Randbedingungen am Boden
3-5	Dimensionslose Wassertiefen im Modellversuch
3-6	Hydrodynamische Massen und Massenmomente für 6 Freiheitsgrade
4-1	Beiwerte bei Variation des Exponenten der Potenzfunktion
4-2	Umrechnung der Koeffizienten für den Ideal-Fluid-Effekt
5-1	Hauptdaten des Containerschiffs
5-2	Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Methoden zur Berücksichtigung der Wassertiefe
6-1	Übersicht über die 4 Beispielschiffe
6-2	Hauptdaten und Koeffizienten für das Containerschiff
6-3	Hauptdaten und Koeffizienten für das Gütermotorschiff
6-4	Hauptdaten und Koeffizienten des Schubverbands mit Tyleichtern E II b
6-5	Hauptdaten und Koeffizienten des Schubverbands mit Großleichtern E III
6-6	Seiten- und Drehgeschwindigkeit bei Seitenkraft und Drehmoment
6-7	Potenzdarstellung der Koeffizienten für die 4 Beispielschiffe mit individuellen Exponenten
6-8	Vereinfachte Darstellung der Beiwerte der Potenzfunktion für individuelle Exponenten
6-9	Potenzdarstellung der Koeffizienten für die 4 Beispielschiffe mit einheitlichen Exponenten
6-10	Vereinfachte Darstellung der Beiwerte der Potenzfunktion für einheitliche Exponenten

## **Abbildungsverzeichnis**

---

Abb. Titel

---

- 1-1 Darstellung der schiffbaulichen Arbeitsgebiete
  
- 2-1 Koordinatensystem und Definitionen
- 2-1 Vergleich der kubischen mit der signum-quadratischen Funktion
- 2-3 Dimensionslose Vorausgeschwindigkeit über der Geschwindigkeit
- 2-4 Strömung am Ruder
- 2-5 Ruderanordnung
- 2-6 Kräfte am Ruder
- 2-7 Querströmung an einem Hauptspant in flachem Wasser
- 2-8 Beispiel für die Abhängigkeit der Seitenkraft von der Quergeschwindigkeit
- 2-9 Beispiel für die Abhängigkeit der Koeffizienten von der Wassertiefe
  
- 3-1 Dimensionslose Seitenkräfte bei verschiedenen Geschwindigkeiten
- 3-2 Bewegungsarten des PMM
- 3-3 Formelmäßig beschriebenes Testschiff
- 3-4 Ausschnitt aus dem Berechnungsgitter für das Testschiff
- 3-5 Residuen bei der Berechnung der Schräganströmung beim Testschiff
- 3-6 Berechnete Kräfte beim Testschiff über der Zellenzahl
- 3-7 Längskraft beim Testschiff über Zellenzahl und Iterationstiefe
- 3-8 Seitenkraft beim Testschiff über Zellenzahl und Iterationstiefe
- 3-9 Giermoment beim Testschiff über Zellenzahl und Iterationstiefe
- 3-10 Feines 2-D-Gitter für die Berechnung der Querströmung am Hauptspant
- 3-11 2-D-Berechnung der Querströmung unter einem Schiff
- 3-12 Spantriß des Containerschiffs
- 3-13 Berechnungsgitter: Bug des Containerschiffs
- 3-14 Berechnungsgitter: Heck des Containerschiffs
- 3-15 Block-Gitter am Hauptspant
- 3-16 Gitter an der Wasseroberfläche
- 3-17 Geschwindigkeitsvektoren an der Wasseroberfläche
- 3-18 Geschwindigkeitsvektoren in Bodennähe
- 3-19 Geschwindigkeitsvektoren am Hauptspant
- 3-20 Dynamischer Druck an der Wasseroberfläche

- 3-21 Dynamischer Druck am Boden
- 3-22 Dynamische Druckkräfte auf die einzelnen Zellflächen
- 3-23 Vergleich: Messung und Berechnung der Seitenkraft am Containerschiff
- 3-24 Vergleich: Messung und Berechnung des Moments am Containerschiff
- 3-25 Vergleich: Messung und Berechnung über alle 4 Quadranten
- 3-26 Diskretisierung des Containerschiffs für WAMIT mit 165 Paneelen
- 3-27 Diskretisierung einer Schiffshälfte durch 369 Paneele
- 3-28 WAMIT: Änderung der Koeffizienten mit der Erregerfrequenz
- 3-29 WAMIT: Hydrodynamische Massen für das Containerschiff
- 3-30 Diskretisierung des Mariner-Schiffs für die Vergleichsrechnung
- 3-31 WAMIT: Hydrodynamische Massen für das Mariner-Schiff
  
- 4-1 Interpolation durch quadratische Polynome für 3 benachbarte Punkte
- 4-2 Approximation von gemessenen Koeffizienten durch Polynomansätze
- 4-3 Containerschiff: Potenzfunktionen für die Koeffizienten für den Rumpf
- 4-4 Vergleich des Potenzansatzes mit dem Vorschlag von Norrbin
- 4-5 Containerschiff: Potenzfunktionen für das 4-Quadranten-Modell
- 4-6 Manöverparameter beim Drehkreisversuch und Z-Manöver
- 4-7 Simulation der Propellerfreifahrt
- 4-8 Simulation eines Propulsionsversuchs
- 4-9 Simulation eines Spiralversuchs
- 4-10 Simulation eines Pull-Out-Tests
- 4-11 Simulation von Stoppversuchen
- 4-12 Änderung der Längskraft beim Ansatz nach Abkowitz
- 4-13 Änderung der Seitenkraft beim Ansatz nach Abkowitz
- 4-14 Änderung des Moments beim Ansatz nach Abkowitz
- 4-15 Drehkreis: Anteile der Längskraft über der Zeit
- 4-16 Drehkreis: Anteile der Seitenkraft über der Zeit
- 4-17 Drehkreis: Anteile des Giermoments über der Zeit
- 4-18 Z-Manöver: Anteile der Längskraft über der Zeit
- 4-19 Z-Manöver: Anteile der Seitenkraft über der Zeit
- 4-20 Z-Manöver: Anteile des Giermoments über der Zeit
- 4-21 Vergleich Z-Manöver und Drehkreis
- 4-22 Phasendiagramm beim Z-Manöver
- 4-23 Geschwindigkeiten und Beschleunigungen beim Z-Manöver
  
- 5-1 Geschwindigkeitsabfall bei Drehkreisen für verschiedene Wassertiefen
- 5-2 Driftwinkel bei Drehkreisen für verschiedene Wassertiefen
- 5-3 Drehgeschwindigkeit bei Drehkreisen für verschiedene Wassertiefen

- 5-4 Bahnverlauf bei Drehkreisen mit einzelnen Koeffizientensätze
- 5-5 Maximale Drehgeschwindigkeit bei verschiedenen Z-Manövern
- 5-6 Drehkreisradius bei verschiedenen Simulationen über der Wassertiefe
- 5-7 Geschwindigkeitsabfall bei versch. Simulationen über der Wassertiefe
- 5-8 Drehgeschwindigkeit bei versch. Simulationen über der Wassertiefe
- 5-9 Driftwinkel bei verschiedenen Simulationen über der Wassertiefe
- 5-10 Unterschiedliche Berücksichtigung der Wassertiefe bei 3 verschiedenen mathematischen Modellen: Drehgeschwindigkeit
- 5-11 Unterschiedliche Berücksichtigung der Wassertiefe bei 3 verschiedenen mathematischen Modellen: Driftwinkel
- 5-12 Unterschiedliche Berücksichtigung der Wassertiefe bei 3 verschiedenen mathematischen Modellen: Geschwindigkeitsabfall
- 5-13 Unterschiedliche Berücksichtigung der Wassertiefe bei 3 verschiedenen mathematischen Modellen: Drehkreisradius
  
- 6-1 Regression der Widerstandsmessungen für das Simulationsmodell
- 6-2 Spantenriß des Containerschiffs
- 6-3 Spantenriß des Gütermotorschiffs
- 6-4 Ansicht des Schubverbands mit Standardleichtern E II b
- 6-5 Ansicht des Schubverbands mit Großleichtern E III
- 6-6 Potenzdarstellung der Koeffizienten der Längskraft für 4 versch. Schiffe
- 6-7 Potenzdarstellung der Koeffizienten der Seitenkraft für 4 versch. Schiffe
- 6-8 Potenzdarstellung der Koeffizienten des Moments für 4 versch. Schiffe
- 6-9 Potenzdarstellung mit konstanten Exponenten: Längskraft
- 6-10 Potenzdarstellung mit konstanten Exponenten: Seitenkraft
- 6-11 Potenzdarstellung mit konstanten Exponenten: Moment

## Bewegungsgleichungen in 6 Freiheitsgraden

$$\begin{aligned} X &= m\dot{u} - mvr + mwq \\ &- mx_G(q^2 + r^2) + my_G(pq - \dot{r}) + mz_G(pr + \dot{q}) \end{aligned} \quad (\text{E.1})$$

$$\begin{aligned} Y &= m\dot{v} - mwp + mur \\ &- my_G(r^2 + p^2) + mz_G(qr - \dot{p}) + mx_G(qp + \dot{r}) \end{aligned} \quad (\text{E.2})$$

$$\begin{aligned} Z &= m\dot{w} - muq + mvp \\ &- mz_G(p^2 + q^2) + mx_G(rp - \dot{q}) + my_G(rq + \dot{p}) \end{aligned} \quad (\text{E.3})$$

$$\begin{aligned} K &= I_x \dot{p} + (I_z - I_y)qr \\ &+ my_G(\dot{w} + vp - uq) - mz_G(\dot{v} - wp + ur) \\ &+ I_{zx}(\dot{r} + pq) + I_{yz}(r^2 - q^2) + I_{xy}(pr - \dot{q}) \end{aligned} \quad (\text{E.4})$$

$$\begin{aligned} M &= I_y \dot{q} + (I_x - I_z)rp \\ &+ mz_G(\dot{u} + wq - vr) - mx_G(\dot{w} - uq + vp) \\ &+ I_{xy}(\dot{p} + qr) + I_{zx}(p^2 - r^2) + I_{yz}(qp - \dot{r}) \end{aligned} \quad (\text{E.5})$$

$$\begin{aligned} N &= I_z \dot{r} + (I_y - I_x)pq \\ &+ mx_G(\dot{v} + ur - wp) - my_G(\dot{u} - vr + wq) \\ &+ I_{yz}(\dot{q} + rp) + I_{xy}(q^2 - p^2) + I_{zx}(rq - \dot{p}) \end{aligned} \quad (\text{E.6})$$

### Symbole

$X, Y, Z$	Kräfte in $x, y, z$
$u, v, w$	Geschwindigkeiten in $x, y, z$
$K, M, N$	Momente um $x, y, z$
$p, q, r$	Drehgeschwindigkeiten um $x, y, z$
$I_x, I_y, I_z$	Trägheitsmomente bezüglich $x, y, z$
$I_{xy}, I_{yz}, I_{zx}$	Deviationsmomente



### Bewegungsgleichungen in 3 Freiheitsgraden

$$\begin{aligned} X &= m\dot{u} - mvr \\ &- mx_G r^2 - my_G \dot{r} \end{aligned} \quad (\text{E.7})$$

$$\begin{aligned} Y &= m\dot{v} + mur \\ &- my_G r^2 + mx_G \dot{r} \end{aligned} \quad (\text{E.8})$$

$$Z = 0 \quad (\text{E.9})$$

$$K = -mz_G(\dot{v} + ur) + I_{zx}\dot{r} + I_{yz}r^2 \quad (\text{E.10})$$

$$M = mz_G(\dot{u} - vr) - I_{zx}r^2 - I_{yz}\dot{r} \quad (\text{E.11})$$

$$N = I_z\dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) - my_G(\dot{u} - vr) \quad (\text{E.12})$$

### Symbole

$X, Y$	Kräfte in $x, y$
$u, v$	Geschwindigkeiten in $x, y$
$M, K, N$	Momente um $x, y, z$
$r$	Drehgeschwindigkeit um $z$
$I_z$	Trägheitsmoment bezüglich $z$
$I_{yz}, I_{zx}$	Deviationsmomente

## Eingabedaten und Koeffizienten

### Gliederung

1. **Allgemeine Daten**
2. **Modulares Modell**
  - 2.a Wassertiefenabhängige Koeffizienten als *einzelne Koeffizientensätze*
  - 2.b Wassertiefenabhängige Koeffizienten in *Potenzdarstellung*
  - 2.c Nicht wassertiefenabhängige Koeffizienten
3. **4-Quadranten-Modell**
  - 3.a Wassertiefenabhängige Koeffizienten als *einzelne Koeffizientensätze*
  - 3.b Wassertiefenabhängige Koeffizienten in *Potenzdarstellung*
  - 3.c Nicht wassertiefenabhängige Koeffizienten
4. **Abkowitz-Modell**
  - 4.a Koeffizienten als *einzelne Koeffizientensätze*
  - 4.b Koeffizienten in *Potenzdarstellung*

### 1. Allgemeine Daten

*Dimensionslose Darstellungen in der Simulation:*

(nicht immer in der Darstellung des "Prime"-Systems)

#### Bewegungs- und Steuergrößen

$$u' = u / \sqrt{g \cdot L}$$

$$v' = \mathbf{b} \cdot \mathbf{p} / 180$$

$$r' = r \cdot L / V$$

$$d' = \mathbf{d}_R \cdot \mathbf{p} / 180$$

$$n' = n / n_0$$

#### Kräfte und Momente

$$X' = X / (r/2 \cdot V^2 \cdot L^2)$$

$$Y' = Y / (r/2 \cdot V^2 \cdot L^2)$$

$$N' = N / (r/2 \cdot V^2 \cdot L^3)$$

$$R_T' = R_T / (r \cdot g \cdot L^3)$$

Hauptdaten des Schiffes

Containerschiff				
				Typ
1416	1			
Modellnummer	Simulationsmaßstab			
232.9 m	32.2 m	9.6 m	10.52 m	
Länge zw. den Loten	Breite auf Spanten	Tiefgang vorne	Tiefgang hinten	
-22.16 m	50.6 m	49792 m <sup>3</sup>		
Verdr.-schw. v. Hspt.	Trägheitsradius	Verdrängung		
10 %/s	0.0 s	19.0 °C		
Ruderlegegeschwind.	Zeitverzug des Ruders	Wassertemperatur		
8.231 m/s	8.231 m/s	2.289 1/s	1.470 %/s	
Ausgangsgeschwind.	Bezugsgeschwind.	Ausgangsdrehrate	Bezugsdrehrate	
0.2	-0.35	-50	-45 m <sup>2</sup>	5.144 m
Nachstromziffer	Abst. Prop.-Rud. / Dp	Ruderschaft %Lpp	Ruderfläche	Ruderprofillänge
1	1	6.3	0.15	
Anzahl Propeller	Anzahl Ruder	Propellerdurchmesser	Sogziffer	

## 2 Modulares Modell

### 2.a Wassertiefenabhängige Koeffizienten als einzelne Koeffizientensätze

Wassertiefenabhängige Koeffizienten für die Rumpfkkräfte:

(Alle Koeffizienten sind mit 1.E5 multipliziert !)

$h / T$	1.2	1.3	1.4	1.6	2.0	4.0
$X_{vr}$	973.77	1192.6	588.6	778.47	584.40	48.710
$X_{rr}$	52.876	56.603	51.324	41.846	36.719	41.386
$X_{vv}$	-1414	-1138.7	-1034.5	-930.38	-702.93	-385.31
$Y_v$	3341.8	2206.2	1317.7	990.04	801.18	699.20
$Y_{ v }$	28770.	21966.	19011.	12636.	6435.5	4194.3
$Y_{\dot{v}}$	-2388.9	-2465.3	-1678.8	-1018.8	-651.68	-599.69
$Y_{\dot{r}}$	-105.10	-76.598	-19.676	21.962	30.642	4.1381
$Y_r$	180.07	75.68	82.800	33.441	58.376	69.295

Fortsetzung der Tabelle

$Y_{rrr}$	-207.45	-206.80	-114.22	-92.845	-93.951	-96.158
$Y_{rvv}$	-3381.0	-2706.1	-2142.5	-1931.9	-1103.7	-934.02
$Y_{vrr}$	7459.8	4547.1	3239.6	2472.0	2195.4	1727.9
$N_v$	1400.6	1262.7	1122.1	911.39	740.05	529.00
$N_{v v }$	3058.3	2182.7	1205.9	702.98	185.16	179.32
$N_{\dot{v}}$	115.31	105.05	85.074	42.639	18.231	7.6276
$N_{\dot{r}}$	-50.717	-49.399	-39.913	-35.506	-31.846	-31.983
$N_r$	-408.13	-394.03	-305.31	-247.01	-203.60	-140.41
$N_{rrr}$	-155.33	-171.89	-146.29	-134.81	-120.62	-136.74
$N_{rvv}$	-6647.5	-4047.4	-3521.2	-2470.8	-1488.7	-1484.7
$N_{vrr}$	909.32	446.68	394.56	171.47	155.50	162.59

Wassertiefenabhängige Koeffizienten für den Widerstand:

(Alle Koeffizienten sind mit 1.E5 multipliziert !)

$h / T$	1.2	1.3	1.4	1.6	2.0	4.0
$X_{H_{uuu}}$ vorwärts	-366.90	-386.60	-330.19	-285.49	-215.66	-84.579
$X_{H_{uuu}}$ rückwärts	-447.62	-471.65	-402.79	-348.30	-263.11	-103.19
$V_0$	4.742	4.687	4.853	5.006	5.301	6.221
$n_0$	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12

## 2.b Wassertiefenabhängige Koeffizienten in Potenzdarstellung

(Alle Koeffizienten sind mit 1.E5 multipliziert !)

	$c_0$	$c_n$	$n$		$c_0$	$c_n$	$n$		$c_0$	$c_n$	$n$
$X_{vr}$	-322.2	1652.3	1	$Y_v$	704.9	11389.	8	$N_v$	529.9	1562.9	3
$X_{rr}$	38.6	38.0	4	$Y_{v v }$	4091.9	52193.	4	$N_{v v }$	130.5	8971.0	6
$X_{vv}$	-300.4	-1521.6	2	$Y_{\dot{v}}$	-495.4	-4445.	4	$N_{\dot{v}}$	-1.3	214.2	3
$X_{uuuV}$	-82.17	-470.66	2	$Y_{\dot{r}}$	23.1	-490.	7	$N_{\dot{r}}$	-31.2	-53.261	5
$X_{uuuR}$	-100.2	-573.97	2	$Y_r$	50.2	896.81	11	$N_r$	-134.8	-498.9	3
				$Y_{rrr}$	-85.3	-399.6	6	$N_{rrr}$	-127.5	-77.	4
				$Y_{rvv}$	-914.2	-5118.	4	$N_{rvv}$	-1542.7	-17986.	7
				$Y_{vrr}$	1943.9	28267.	9	$N_{vrr}$	159.6	4601.8	10

**2.c Nicht wassertiefenabhängige Koeffizienten**

Propellerkoeffizienten:

234
.05246 m
.46646 rad

Propellernummer  
 Profillänge bei 0,7 R  
 maximaler Fortschrittswinkel  $e_{max}$  für die konventionelle Freifahrtkurve

Polynomfaktoren für  $e < e_{max} \Rightarrow C_T^* = c_{T0} + e \cdot c_{T1} + e^2 \cdot c_{T2} + e^3 \cdot c_{T3}$

.305759	-.320012	-1.351434	1.355392
$c_{T0}$	$c_{T1}$	$c_{T2}$	$c_{T3}$

Polynomfaktoren für  $e < e_{max} \Rightarrow C_Q^* = c_{Q0} + e \cdot c_{Q1} + e^2 \cdot c_{Q2} + e^3 \cdot c_{Q3}$

.050039	-.056898	-.154534	.128289
$c_{Q0}$	$c_{Q1}$	$c_{Q2}$	$c_{Q3}$

Fourierkoeffizienten für  $e > e_{max}$

Beiwert für	$C_T^* : \sin(i \cdot e)$	$C_T^* : \cos(i \cdot e)$	$C_Q^* : \sin(i \cdot e)$	$C_Q^* : \cos(i \cdot e)$
$i = 0$	-.000000	.002024	-.000000	.002359
$i = 1$	-.849515	.195469	-.133872	.032459
$i = 2$	-.003720	.048818	.001118	.004071
$i = 3$	.164251	.025982	.027577	.005919
$i = 4$	-.005025	-.029999	-.003201	-.005985
$i = 5$	.048329	-.019077	.009596	-.001992
$i = 6$	.015489	.019686	.004508	.004585
$i = 7$	.003654	.036372	-.002856	.007296
$i = 8$	-.014193	-.000231	-.003183	-.000689
$i = 9$	.008630	.000872	.002131	-.001261

Ruderkoeffizienten:

751
.466457 rad

Rudernummer  
 maximaler Ruderwinkel  $d_{Rmax}$  für die Darstellung durch Koeffizienten

Dimensionslose Darstellung der Ruderkräfte bei frei fahrendem Ruder:

$$F_D = C_{DR} \cdot r/2 \cdot c^2 \cdot V_R^2$$

$$F_L = C_{LR} \cdot r/2 \cdot c^2 \cdot V_R^2$$

Koeffizienten für  $d_R < d_{R\max}$

$$C_{DR} = -1.4749 \cdot d_R^2$$

$$C_{LR} = 2.6839 \cdot d_R - 2.1201 \cdot d_R^3$$

Fourierkoeffizienten für  $d_R > d_{R\max}$

Beiwert für	$C_{DR} : \sin(i \cdot d_R)$	$C_{DR} : \cos(i \cdot d_R)$	$C_{LR} : \sin(i \cdot d_R)$	$C_{LR} : \cos(i \cdot d_R)$
$i = 0$	.000000E+00	-.749115E+00	-.000000E+00	.114975E-01
$i = 1$	-.916008E-02	-.229809E-01	.201612E+00	.253328E-02
$i = 2$	-.146926E-01	.576260E+00	.105138E+01	-.991160E-02
$i = 3$	-.969051E-02	-.181587E-01	-.507648E-01	-.123301E-01
$i = 4$	-.537834E-02	.114177E+00	.375152E+00	-.103952E-01
$i = 5$	.324265E-02	.118480E-01	-.130067E+00	-.109188E-01
$i = 6$	.252174E-02	.176199E-02	.726355E-01	.574045E-02
$i = 7$	.509526E-01	.124730E-01	-.108601E+00	.519503E-02
$i = 8$	.663295E-02	-.441208E-01	-.352427E-01	.989351E-02
$i = 9$	-.806179E-02	.238069E-01	-.215218E-01	.115814E-01
$i = 10$	.905502E-02	-.364093E-01	-.489571E-02	-.190018E-02
$i = 11$	.375630E-02	-.129472E-02	.333919E-01	.284258E-02
$i = 12$	-.979081E-02	.441657E-01	.354462E-01	-.665779E-02

### 3 4-Quadranten-Modell

#### 3.a Wassertiefenabhängige Koeffizienten als einzelne Koeffizientensätze

$h/T$	1.2	1.3	1.4	1.6	2.0	4.0	$\infty$
$X_{\dot{u}}$	-.1328	-.1515	.0000	-.1603	.0000	.0000	-.0340
$X_{vr}$	1.7938	1.4445	1.3123	1.1803	.8917	.4888	.4773
$X_{rr}$	.0671	.0718	.0651	.0531	.0466	.0525	.0565
$X_{vv}$	1.2353	1.5129	.7467	.9875	.7414	.0618	.0000
$Y_{\dot{v}}$	-3.0305	-3.1271	-2.1297	-1.2924	-.8267	-.7608	-.8608
$Y_{\dot{i}}$	-.1333	-.0972	-.0250	.0279	.0389	.0052	-.0879
$N_{\dot{v}}$	.1463	.1333	.1079	.0541	.0231	.0097	-.0247
$N_{\dot{i}}$	-.0643	-.0627	-.0506	-.0450	-.0404	-.0406	-.0309

Fortsetzung der Tabelle

## Anhang F : Eingabedaten und Koeffizienten

$c$	.619	.4086	.2441	.1834	.1484	.1295	.1558
$d$	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.2
$e$	.1637	.2006	.1031	-.0035	-.0164	.0131	.0340
$c'$	.211	.1446	.0614	.1184	.0433	.0514	.0884
$d'$	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
$e'$	.3878	.3698	.2892	.2146	.1643	.1480	.1505
$k'$	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.32
$a_0$	7.872	6.068	4.555	2.872	1.778	.9166	.2672
$a_7$	-14.32	-22.75	-21.86	-19.18	-17.12	-7.834	-2.8793
$a_8$	-17.67	-12.11	-8.338	-3.822	-1.145	.003711	3.4812
$a_9$	17.86	28.06	26.09	22.82	20.48	9.237	4.1791
$R_{T_{u u}}$	1.15000	.980868	.837747	.724335	.547165	.214591	.15475

### 3.b Wassertiefenabhängige Koeffizienten in Potenzdarstellung

	$c_0$	$c_n$	$n$		$c_0$	$c_n$	$n$		$c_0$	$c_n$	$n$
$X_{\dot{u}}$	-.1623	.2155	11	$c$	.1438	2.4998	9	$a_0$	.6320	15.175	4
$X_{vr}$	.4216	1.8532	2	$d$	1.0000		-	$a_7$	-1.3621	-28.656	1
$X_{rr}$	.0520	.04939	5	$e$	.0018	.48925	5	$a_8$	1.8318	-39.966	4
$X_{vv}$	-.4088	2.096	1	$c'$	.0687	1.0733	11	$a_9$	1.9341	34.085	1
$Y_{\dot{v}}$	-.7015	-5.426	4	$d'$	1.0000		-	$R_{T_{u u}}$	.1512	1.4193	2
$Y_{\dot{r}}$	.0293	-.62155	7	$e'$	.1434	.549	4				
$N_{\dot{v}}$	-.0100	.27181	3	$k'$	.4000		-				
$N_{\dot{r}}$	-.0359	-.064	4								

### 3.c Nicht wassertiefenabhängige Koeffizienten

232.9	m	Länge zwischen den Loten
51036.8	t	Schiffsmasse
9.600	m	Tiefgang am vorderen Lot
10.520	m	Tiefgang am hinteren Lot
6.300	m	Propellerdurchmesser
-.500		Lage des Ruders bezgl. Hauptspant
45.000	m <sup>2</sup>	Ruderfläche
5.114	m	Profillänge des Ruders
4.802	m/s	Ausgangsgeschwindigkeit

Fortsetzung der Tabelle

1.120	°/s	Ausgangsdrehrate
.2000		Nachstromziffer
.1500		Sogziffer
.2000		Nachstromziffer für das Ruder
.0000		$Y_{PT_{vor}}$ Faktor zur Berechnung der steuernden Seitenkraft des Propellers bei Vorwärtsfahrt
.0000		$N_{PT_{vor}}$ Faktor zur Berechnung des steuernden Moments des Propellers bei Vorwärtsfahrt
.0000		$Y_{PT_{zur}}$ Faktor zur Berechnung der steuernden Seitenkraft des Propellers bei Rückwärtsfahrt
.0000		$N_{PT_{zur}}$ Faktor zur Berechnung des steuernden Moments des Propellers bei Rückwärtsfahrt
.7500		$k_{HR}$ (Begradigungsfaktor für die Strömung am Ort des Ruders)
.8364		$k_{PR}$ (Faktor zur Berechnung der Anströmgeschwindigkeit am Ort des Ruders)
.4798		$k_{LR}$ Verstärkungsfaktor zur Berechnung des Ruderauftriebs
.6684		$k_{DR}$ Verstärkungsfaktor zur Berechnung des Ruderwiderstandes
.0000		$k_{NR}$ Verstärkungsfaktor zur Berechnung des Rudermoments

Propellerkoeffizienten für  $e < e_{\max} \Rightarrow C_T^* = c_{T0} + c_{T\cos} \cdot \cos(e) + c_{T\sin} \cdot \sin(e)$   
 $C_Q^* = c_{Q0} + c_{Q\cos} \cdot \cos(e) + c_{Q\sin} \cdot \sin(e)$

27°	$e_{\max}$		
-.6131	$c_{T0}$	.9242	$c_{T\cos}$
			$c_{T\sin}$
-.10025	$c_{Q0}$	.15078	$c_{Q\cos}$
			$c_{Q\sin}$

Propellerkoeffizienten für  $e < e_{\max} \Rightarrow$

$$C_T^* = +a_T \cdot \cos(e) \cdot |\cos(e)| + b_T \cdot \sin(e) \cdot |\sin(e)| + c_T$$

$$C_Q^* = c_{Q0} + c_{Q\cos} \cdot \cos(e) + c_{Q\sin} \cdot \sin(e)$$

.2124	$a_T$	-1.0668	$b_T$	.0428882	$c_T$
.03704	$a_Q$	-1.16940	$b_Q$	.0073306	$c_Q$



Ruderkräfte

27	Anzahl Datenpunkte für die Ruderkrafttabelle	
Ruderwinkel	$C_{LR0}$	$C_{DR0}$
-180	.00000	.00000
-165	.24010	.04280
-150	.45390	.18750
-135	.57890	.42500
-130	.29600	.30570
-110	.14800	.47000
-90	.00000	.50960
-70	-.14800	.47000
-50	-.29600	.30570
-40	-.39372	.44263
-30	-.47969	.24271
-20	-.37072	.09301
-10	-.18869	.02119
0	.00000	.00000
10	.15214	.03412
20	.31014	.09797
30	.45505	.19118
40	.45685	.32838
50	.29600	.30570
70	.14800	.47000
90	.00000	.50960
110	-.14800	.47000
130	-.29600	.30570
135	-.57890	.42500
150	-.45390	.18750
165	-.24010	.04280
180	.00000	.00000

**4 Abkowitz-Modell****4.a Koeffizienten als einzelne Koeffizientensätze**

(Alle Koeffizienten sind mit 1.E5 multipliziert !)

$h / T$	1.2	1.3	1.4	1.6	2	4
$X_u$	-287.63	-295.84	-271.95	-252.63	-218.58	-144.13
$X_{uu}$	151.01	154.45	144.44	136.38	121.88	89.878
$X_{vv}$	1009.3	1239.5	604.15	804.2	600.61	38.104
$X_{dd}$	-93.044	-95.472	-88.41	-82.56	-72.792	-51.498
$X_{duu}$	-6.7465	-6.9095	-6.4358	-6.0566	-5.3695	-3.8635
$X_{ddu}$	607.44	621.93	579.71	544.9	484.87	350.42
$X_{\dot{u}}$	-104.67	-119.45	0	-126.34	0	0
$X_{rr}$	51.661	55.355	50.173	40.776	35.773	40.737
$X_{vr}$	1325.4	1063.6	965.49	870.65	656.32	351.47
$Y_v$	-3894.8	-2641.5	-1697.7	-1255.6	-953.2	-800.7
$Y_{v v }$	-23629	-21920	-17326	-12227	-6867.6	-4105.2
$Y_d$	143.08	146.81	135.95	126.96	111.94	79.191
$Y_{ddd}$	-42.923	-44.044	-40.787	-38.088	-33.581	-23.758
$Y_{vdd}$	8267.5	2288.2	2075	617.9	-1063.9	-200.46
$Y_{vvd}$	-205.04	-210.26	-195	-181.07	-161.43	-115.15
$Y_{du}$	-295.39	-302.93	-281.02	-263.68	-231.66	-161.69
$Y_{duu}$	164.9	168.75	157.55	148.44	132.35	96.731
$Y_{\dot{v}}$	-2388.9	-2465	-1678.8	-1018.8	-651.68	-599.69
$Y_{\dot{r}}$	-105.1	-76.598	-19.676	21.962	30.642	4.138
$Y_r$	200.31	96.562	102.34	52.114	75.466	80.934
$Y_{rrr}$	-204.92	-204.35	-112.22	-91.52	-93.576	-95.175
$Y_{rvv}$	8991.5	-3596.2	2136.8	-49.963	-2094.2	-705.36
$Y_{vrr}$	-9866.3	-3694.6	-3949.4	-2618.9	-1634.9	-1553.4
$N_v$	-1428.7	-1274.9	-1119.1	-901.21	-723.45	-518.03
$N_{v v }$	-2778.9	-2245.1	-1412.2	-926.13	-403.62	-230.34
$N_d$	-71.54	-73.407	-67.977	-63.479	-55.968	-39.596
$N_{ddd}$	21.462	22.022	20.393	19.044	16.791	11.879
$N_{vdd}$	1234.7	51.22	-83.939	-68.857	-339.18	-73.935
$N_{vvd}$	102.53	105.13	97.498	90.532	80.716	57.574

Fortsetzung der Tabelle

## Anhang F : Eingabedaten und Koeffizienten

$N_{du}$	147.69	151.46	140.51	131.84	115.83	80.844
$N_{duu}$	-82.449	-84.374	-78.773	-74.219	-66.173	-48.365
$N_{\dot{v}}$	115.31	105.05	85.074	42.639	18.231	7.6276
$N_{\dot{r}}$	-50.717	-49.399	-39.913	-35.506	-31.846	-31.983
$N_r$	-422.76	-409.26	-321.06	-261.67	-215.06	-149.45
$N_{rrr}$	-150.48	-166.61	-139.22	-128.29	-116.85	-132.87
$N_{rvv}$	-5115.8	-3726.5	-3069.5	-2206.3	-1750.5	-1305.8
$N_{vrr}$	-1038.6	-314.55	-327.01	-98.996	30.63	-91.76

### 4.b Koeffizienten in Potenzdarstellung

(Alle Koeffizienten sind mit 1.E5 multipliziert !)

	$c_0$	$c_n$	$n$		$c_0$	$c_n$	$n$		$c_0$	$c_n$	$n$
$X_u$	-83.765	-262.25	1	$Y_v$	-810.66	-11029	7	$N_v$	-508.05	-1636	3
$X_{uu}$	64.341	111.59	1	$Y_{v v }$	-3166.4	-37618	3	$N_{v v }$	-110.78	-5589.5	4
$X_{vv}$	-351.34	1734.6	1	$Y_d$	52.046	116.92	1	$N_d$	-26.022	-58.463	1
$X_{dd}$	-33.844	-76.036	1	$Y_{ddd}$	-15.614	-35.076	1	$N_{ddd}$	7.8071	17.538	1
$X_{duu}$	-2.6575	-5.2646	1	$Y_{vdd}$	-295.95	62191	11	$N_{vdd}$	-256.13	10200	11
$X_{ddu}$	242.87	469.16	1	$Y_{vvd}$	-76.882	-164.32	1	$N_{vvd}$	38.436	82.172	1
$X_{\dot{u}}$	-127.92	169.85	11	$Y_{du}$	-105.87	-244.1	1	$N_{du}$	52.935	122.04	1
$X_{rr}$	37.759	36.532	4	$Y_{duu}$	68.201	124.47	1	$N_{duu}$	-34.1	-62.233	1
$X_{vr}$	273.62	1436.8	2	$Y_{\dot{v}}$	-495.35	-4445.3	4	$N_{\dot{v}}$	-1.3446	214.24	3
				$Y_{\dot{r}}$	23.134	-490	7	$N_{\dot{r}}$	-31.153	-53.261	5
				$Y_r$	66.869	933.37	11	$N_r$	-145.19	-509.29	3
				$Y_{rrr}$	-88.302	-470.15	7	$N_{rrr}$	-124.59	-88.14	5
				$Y_{rvv}$	-1608.6	64786	11	$N_{rvv}$	-1351.2	-9208	5
				$Y_{vrr}$	-1768.5	-57429	11	$N_{vrr}$	-42.885	-7154.6	11