

Sea-Trial Auswertung mit eingeschränkten Informationen und dynamischen Einflüssen

Sea Trial Analysis with Restricted Information and Dynamic Components

Dr. habil. **Reinhard Schulze**
SVAtch GmbH, Potsdam

Summary:

Two methods for the evaluation of sea trials of ships are presented, in which a precise knowledge of the environment conditions is not necessary. With a summary functional approach for the forces acting on the ship due to the environmental influences, these can be determined from the usual measurements during the double runs. This first step of parameter identification can then be used in a second step to check the contract conditions on the basis of model test results. The first method is based on the usual execution of sea trials on the basis of double runs with the aid of long-term averages for the measured speeds, delivered powers, speeds and directions ("static sea trial evaluation"). The second method enables the external influencing parameters to be determined on the basis of a defined acceleration behavior of the ship by means of continuous data acquisition over the time of ship speeds, powers, revolution speeds and directions. Here, too, it is possible to calculate the undisturbed propulsion behavior of the ship. Due to the lack of data (continuous recording of all measured values) for the second method, further verifications and, if necessary, improvements are possible or necessary

Zusammenfassung:

Es werden zwei Methoden zur Probefahrtsauswertung von Schiffen vorgestellt, bei denen eine präzise Kenntnis der Umgebungsbedingungen nicht erforderlich ist. Mit einem summarischen funktionalen Ansatz für die auf das Schiff durch die Umwelteinflüsse wirkenden Kräfte können diese aus den üblichen Messungen bei den durchgeführten Double-Runs mit ermittelt werden. Dieser erste Schritt einer Parameteridentifikation kann in einem zweiten Schritt dann zur Überprüfung der Vertragsbedingungen auf der Basis von Modellversuchsergebnissen herangezogen werden. Die erste Methode orientiert sich noch an der üblichen Durchführung von Probefahrten auf der Basis von Double-Runs unter Zuhilfenahme von Langzeit-Mittelwerten für die gemessenen Geschwindigkeiten, Leistungen, Drehzahlen und Richtungen („statische Probefahrtsauswertung“). Die zweite Methode gestattet die Ermittlung der äußeren Einflussparameter auf der Grundlage eines definierten Beschleunigungsverhaltens des Schiffes mittels kontinuierlicher Datenerfassung über die Zeit von Geschwindigkeiten, Leistungen, Drehzahlen und Richtungen. Auch hier gelingt dann die Rückrechnung auf das ungestörte Propulsionsverhalten des Schiffes („dynamische Probefahrtsauswertung“). Auf Grund noch mangelnder Daten (kontinuierliche Aufzeichnungen aller Messwerte) für die zweite Methode sind noch weitere Verifikationen und ggf. Verbesserungen möglich bzw. erforderlich.

1 Einleitung

Im zweiten Abschnitt wird kurz auf die Grundlagen den parametrischen Ansatz zur summarischen Beschreibung der Umwelteinflüsse (Wind und Seegang) ohne explizite Kenntnis der genauen Windeinflüsse und Seegangsverhältnisse eingegangen. Im dritten Abschnitt werden dann die erforderlichen Gleichungssystem zur Parameteridentifikation hergeleitet. Mit deren Hilfe ist es dann möglich, auf der Basis der Lösung einer Extremalaufgabe die Daten für die Störungen zu ermitteln und damit eine Überprüfung der Vertragsbedingungen zu ermöglichen. Auf der Basis des dynamischen Verhaltens des Antriebsstranges und des allgemeinen 2D Manövrierverhaltens eines Schiffes werden im vierten Abschnitt dann die Gleichungen für das dynamische Bewegungsverhaltens mit äußeren Störungen bei Kenntnis der Propellereigenschaften untersucht.

Auf der Basis einer Parameteridentifikation können auch hier die äußeren Störeinflüsse und gegebenenfalls weitere Unbekannte wie die angekoppelte hydrodynamische Masse ermittelt werden. Damit wird auch für diese „dynamische Probefahrtauswertung“ dann eine Extrapolation auf die ungestörte Situation (Vertragsbedingungen) möglich. Das Vorgehen wird an einem Beispiel erläutert. Ein wesentlicher Nachteil der klassischen „statischen Probefahrtauswertung“ besteht darin, dass die Durchführung der erforderlichen Double-Runs (Abb. 1) insbesondere bei großen Schiffen einen sehr großen Zeitaufwand erfordert (bis zu 12 Stunden) bei der sich dann auch die Umgebungsbedingungen signifikant ändern können. Die Durchführung der „dynamischen Probefahrt“ kann erheblich schneller durchgeführt werden. Dabei wäre es theoretisch sogar möglich, auf die Versuche in Gegenrichtung zu verzichten. Ob dieser Verzicht auch praktikabel ist, bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten.

2 Grundlagen für eine „statische“ Seatrial-Auswertung mit eingeschränkten Informationen

Der prognostizierte Schiffswiderstand umgerechnet auf die Großausführung nach den Modellversuchen („Vertragswiderstand“) des Schiffes sei definiert durch

$$R_{TV}(V_{TW}) = R_{TV}(V_{TW}, 0) = R_{TR}(V_{TW}) + R_{AA}(V_{TW}, 0)$$

mit den Geschwindigkeiten

R_{TR}	: Schiffswiderstand ohne Windwiderstand
$R_{AA}(V_{TW}, 0)$: Windwiderstand allein durch die Fahrtgeschwindigkeit
V_{TW}	: Geschwindigkeit des Schiffes durch das Wasser
V_{OG}	: Geschwindigkeit des Schiffes relativ zur Erde
V_C	: Strömungsgeschwindigkeit
V_{AA}	: Windgeschwindigkeit
V_W	: Wellengeschwindigkeit

Unter der Annahme, dass die Probefahrten immer annähernd mit und gegen den Wind durchgeführt werden gilt dann [9]

$$R_{AA}(V_{TW}, V_{AA}) = c_{AA} \cdot (V_{OG} - V_{AA})^2 \quad (S1)$$

Und damit

$$R_{AA}(V_{TW}, V_{AA}) = +c_{AA} \cdot (V_{OG}^2 - 2 \cdot V_{OG} \cdot V_{AA} + V_{AA}^2) = R_{AA}(V_{TW}, 0) - c_{AA} \cdot (2 \cdot V_{OG} \cdot V_{AA} - V_{AA}^2) \quad (S2)$$

Woraus folgt:

$$R_T(V_{TW}, V_{AA}) = R_{TR}(V_{TW}) + R_{AA}(V_{TW}, 0) - c_{AA} \cdot (2 \cdot V_{OG} \cdot V_{AA} - V_{AA}^2) \quad (S3)$$

$$R_T(V_{TW}, V_{AA}) = R_T(V_{TW}, 0) - c_{AA} \cdot (2 \cdot V_{OG} \cdot V_{AA} - V_{AA}^2) \quad (S4)$$

$$\text{Setzen man } F_{AA}(V_{OG}) = 2 \cdot c_{AA} \cdot |V_{OG} \cdot V_{AA}|, \text{ und } W_{AA}^2(V_{OG}) = c_{AA} \cdot V_{AA}^2 \quad (S5)$$

gilt je nach Probefahrtrichtung (je nach Vorzeichen von V_{OG} und V_{AA}):

$$R_T(V_{TW}, V_{AA}) = R_T(V_{TW}) - F_{AA} + W_{AA}^2 \quad \text{bzw.} \quad (S6)$$

$$R_T(V_{TW}, V_{AA}) = R_T(V_{TW}) + F_{AA} + W_{AA}^2 \quad (S6')$$

Analoge Betrachtungen gelten auch für die durch die Wellenbewegungen verursachten Zusatzwiderstände F_W , so dass für geringe Wellengeschwindigkeiten und Wellenhöhen die Kräfte F_{AA} und F_W sowie W_{AA}^2 und W_W^2 zusammengefasst werden können zu einer Zusatzkraft F und einen immer positiven Verlustanteil W mit der dann vereinfachend in Abhängigkeit der Probefahrtrichtung gelten:

$$R_T(V_{TW}, +1) = R_T(V_{TW}) - F(V_{OG}) + W^2 \quad \text{bzw.} \quad (S7)$$

$$R_T(V_{TW}, -1) = R_T(V_{TW}) + F(V_{OG}) + W^2 \quad (S7')$$

Wobei hier +1 bzw. -1 für die beiden Probefahrtrichtungen stehen.

Umgekehrt gelten dann natürlich auch:

$R_T(V_{TW}) = R_T(V_{TW}, -1) - F(V_{OG}) - W^2(V_{OG})$
 $R_T(V_{TW}) = R_T(V_{TW}, +1) + F(V_{OG}) - W^2(V_{OG})$ und durch Multiplikation mit V_{TW} lassen sich die (theoretischen) Vertragsleistungen $P_D(V_{TW})$ aus den Leistungsmessungen an der Propellerwelle für jeden Run $P_D(V_{TW}, -1)$ und $P_D(V_{TW}, +1)$ ermitteln:

$$\begin{aligned}
 P_D(V_{TW}) &= \\
 R_T(V_{TW}) \cdot V_{TW} &= R_T(V_{TW}, -1) \cdot V_{TW} - F(V_{OG}) \cdot V_{TW} - W^2(V_{OG}) \cdot V_{TW} = \\
 P_D(V_{TW}, -1) - F(V_{OG}) \cdot V_{TW} - W^2(V_{OG}) \cdot V_{TW} & \quad (S8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_D(V_{TW}) &= \\
 R_T(V_{TW}) \cdot V_{TW} &= R_T(V_{TW}, +1) \cdot V_{TW} + F(V_{OG}) \cdot V_{TW} - W^2(V_{OG}) \cdot V_{TW} = \\
 P_D(V_{TW}, +1) + F(V_{OG}) \cdot V_{TW} - W^2(V_{OG}) \cdot V_{TW} & \quad (S8')
 \end{aligned}$$

Ohne genaue Kenntnis der Wind- und Seegangsverhältnisse sollen nun die Zusatzkräfte $F(V_{OG})$ und Verluste $W^2(V_{OG})$ ermittelt werden.

3 Gleichungssysteme für eine „statische“ Seatrial-Auswertung mit eingeschränkten Informationen

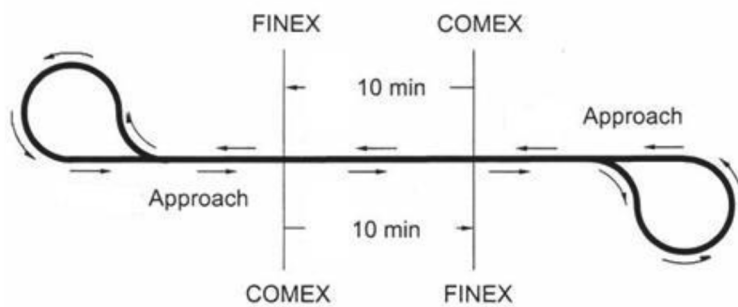


Abb. 1. Standardprozedur zur Durchführung einer Probefahrt im Sinne eines Double-Runs

Grundlage der Betrachtungen ist hierbei, dass für kleine Bereiche für den Schiffswiderstand gilt:

$$R_T(V_{TW}) = c_T \cdot V_{TW}^2 \quad \text{und daraus auch} \quad (G1)$$

$$P_D(V_{TW}) = \frac{1}{\eta_D} \cdot c_T \cdot V_{TW}^3 = c_V \cdot V_{TW}^3 \quad (G1')$$

womit auch

$$P_D(n) = c_n \cdot n^3 \quad (G2)$$

folgt. Eine Modifikation von Gleichung (1) wäre dahingehend möglich, dass lediglich eine (relativ kleine) Korrektur zu dem aus Versuchen bekannten Widerstand erfolgt, d.h. es erfolgt ein Ansatz der Form

$$R_T(V_{TW}) = R_{TV}(V_{TW}) + c_T \cdot V_{TW}^2. \quad (G1'')$$

Der Einfachheit der Darstellung wegen verzichten wir im Folgenden auf diese mögliche Verbesserung der Verfahren.

Der Einfluss der Strömung (Gezeiten) in beiden Richtungen sei beschrieben durch

$$V_{TW} = V_{OG} + V_C \quad V_{TW} = V_{OG} - V_C \quad (G3)$$

Wie bereits beschrieben sei der Einfluss von Wind und Seegang beschrieben durch eine resultierende Kraft F in Schiffsrichtung und allgemeine Zusatzverluste die in beiden Richtungen gleichmäßig wirken durch W^2 so, dass eine zusätzliche Leistung durch

$$F \cdot V_{OG} + W^2 \quad (G4)$$

beschrieben wird (Abb. 2):

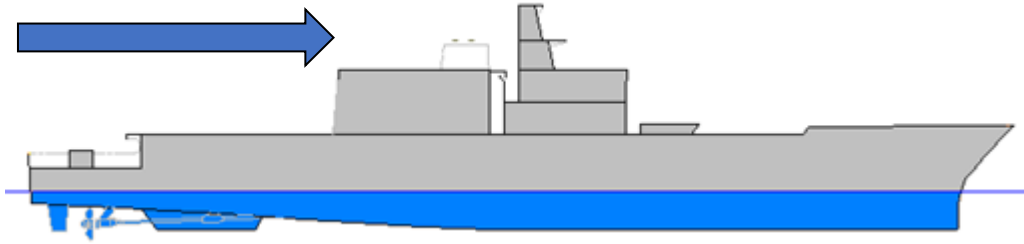


Abb. 2. Prinzipdarstellung der Wirkung von Zusatzkräften in Fahrtrichtung

Und in der entgegengesetzten Richtung (Abb. 3):

$$-F \cdot V_{OG} + W^2 \quad (G5)$$

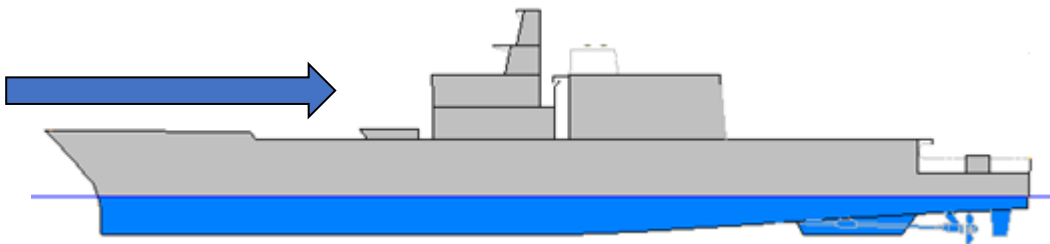


Abb. 3. Prinzipdarstellung der Wirkung von Zusatzkräften entgegen der Fahrtrichtung

Die Seeveruche werden als Double-Runs (Indizes 1 bzw. 2) ausgeführt. Dabei werden als Mittelwerte über einem gewissen Zeitraum (deshalb „statische“ Versuche) ausgeführt und die folgenden Daten erfasst.

Run 1: $P_{D1}, n_1 \cdot V_{OG1}, D_1$ and for (G6)

Run 2: $P_{D2}, n_2 \cdot V_{OG2}, D_2$. (G7)

(Hier stehen D_1 und D_2 für „direction“. Die Richtungen werden nur qualitativ benutzt.)

Setzt man die gemessenen Daten (G6) und (G7) in die Gleichungen (G1) und (G2) ein, dann erhält man unter Berücksichtigung von (G3), (G4) und (G5) ein System von vier Gleichungen:

$$P_{D1} - V_{OG1} \cdot F + W^2 = c_V \cdot (V_{OG1} - V_C)^3 \quad (P1)$$

$$P_{D2} + V_{OG2} \cdot F + W^2 = c_V \cdot (V_{OG2} + V_C)^3 \quad (P2)$$

$$P_{D1} - V_{OG1} \cdot F + W^2 = c_n \cdot n_1^3 \quad (P3)$$

$$P_{D2} + V_{OG2} \cdot F + W^2 = c_n \cdot n_2^3 \quad (P4)$$

mit 5 Unbekannten $x_1 = c_V, x_2 = c_n, x_3 = V_C, x_4 = F$ und $x_5 = W$.

Für $V_C = 0, W = 0$ und bei Definition von V_M durch Gleichung (G8)

$$V_M = \frac{V_{OG1} + V_{OG2}}{2} \quad (G8)$$

gilt dann

$$P_D(V_M) = \frac{(P_{D1} + P_{D2})}{(V_{OG1}^3 + V_{OG2}^3)} \cdot V_M^3 \quad \text{d.h.} \quad (G9)$$

$$c_V = \frac{(P_{D1} + P_{D2})}{(V_{OG1}^3 + V_{OG2}^3)} \quad (G9')$$

und wird n_M definiert durch (G10)

$$n_M = \frac{n_1+n_2}{2} \quad (G10)$$

so gilt dann auch

$$P_D(n_M) = \frac{(P_{D1}+P_{D2})}{(n_1^3+n_2^3)} \cdot n_M^3 \quad \text{d.h.} \quad (G11)$$

$$c_n = \frac{(P_{D1}+P_{D2})}{(n_1^3+n_2^3)} \quad (G11')$$

Ist also $V_C = 0$ und $W = 0$ dann hat F keinen Einfluss auf die Lösung und das Gleichungssystem (P1,...,P4) kann eindeutig gelöst werden.

Unter diesen Voraussetzungen gilt dann

$$F = \frac{P_{D1}}{V_{OG1}} - c_V \cdot (V_{OG1})^2 \quad (F1)$$

$$F = c_V \cdot (V_{OG2})^2 - \frac{P_{D2}}{V_{OG2}} \quad (F2)$$

Im allgemeinen Fall mit $V_C \neq 0$ und $W \neq 0$ kann das Gleichungssystem P1,...,P4 auf m Double-Runs verallgemeinert werden. Dabei soll zusätzlich vorausgesetzt werden, dass die Unbekannten $x_3 = V_C$, $x_4 = F$ und $x_5 = W$ über alle (oder einige) Runs konstant wirken. Eine Verallgemeinerung wäre dahingehend möglich, dass diese Konstanzforderung so abgeschwächt wird, dass diese nur für zwei Double-Runs gelten und nur jeweils zwei Doppellruns gemeinsam ausgewertet werden.

$$P_{D11} - V_{OG11} \cdot F + W^2 = c_{V1} \cdot (V_{OG11} - V_C)^3 \quad (P1.1)$$

$$P_{D12} + V_{OG12} \cdot F + W^2 = c_{V1} \cdot (V_{OG12} + V_C)^3 \quad (P1.2)$$

$$P_{D11} - V_{OG11} \cdot F + W^2 = c_{n1} \cdot n_{11}^3 \quad (P1.3)$$

$$P_{D12} + V_{OG12} \cdot F + W^2 = c_{n1} \cdot n_{12}^3 \quad (P1.4)$$

·

·

·

$$P_{Dm1} - V_{OGm1} \cdot F + W^2 = c_{Vm} \cdot (V_{OGm1} - V_C)^3 \quad (Pm.1)$$

$$P_{Dm2} + V_{OGm2} \cdot F + W^2 = c_{Vm} \cdot (V_{OGm2} + V_C)^3 \quad (Pm.2)$$

$$P_{Dm1} - V_{OGm1} \cdot F + W^2 = c_{nm} \cdot n_{m1}^3 \quad (Pm.3)$$

$$P_{Dm2} + V_{OGm2} \cdot F + W^2 = c_{nm} \cdot n_{m2}^3 \quad (Pm.4)$$

Für $m \geq 2$ hat das Gleichungssystem (P1.1, P1.2, P1.3, P1.4,...,Pm.1, Pm.2, Pm.3, Pm.4) $2 \cdot m + 3$ Unbekannte und es existieren $4 \cdot m$ Gleichungen. Damit ist im Allgemeinen dieses Gleichungssystem überbestimmt und kann nur im Sinne einer Minimallösung aufgelöst werden (Schritt der Parameteridentifikation).

Die Gleichungen (P11, P12, P13, P14,...,Pm1, Pm2, Pm3, Pm4) sind definiert durch $6 \cdot m$ bekannte Messgrößen wie Geschwindigkeiten über Grund, Leistungen und Drehzahlen.

In Tabelle 1 sind beispielhaft die ermittelten Daten während einer Probefahrt zusammengefasst.

run	DIR	VOG[kn]	Pshaft[kW]	n[rpm]
1	-1	12.10	4567.41	71.85
2	1	14.40	4328.88	71.75
3	-1	14.40	6792.60	81.75
4	1	15.30	6470.32	81.85
5	-1	15.60	7804.79	85.65
6	1	15.30	7487.84	85.60
7	1	16.00	8814.10	90.40
8	-1	16.30	8909.72	90.20

Tabelle 1. Probefahrtsdaten eines Beispielschiffes

Die Werte der Lösung der Double-Run-Gleichungen (P1.1, P1.2, P1.3, P1.4,...,P6.1, P6.2, P6.3, P6.4) wurden in Abbildung 4 grafisch dargestellt.

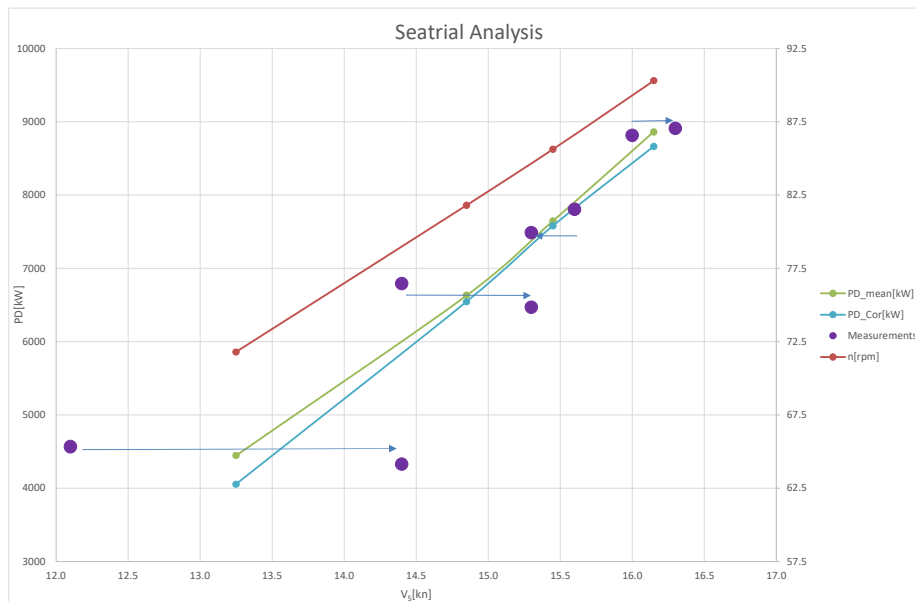


Abb. 4. Ergebnisse der Lösung des überbestimmten Gleichungssystem für das Probefahrtsbeispiel aus Tabelle 1

4 Berücksichtigung dynamische Beschleunigungsvorgänge von Schiffen zur Probefahrtsauswertung

Das dynamische Verhalten eines Schiffes mit Propellerantrieb wird durch die Massenträgheitsmomente des Antriebsstranges und durch das Manövrierverhalten des Schiffes bestimmt [12]:

$$2 \cdot \pi \cdot J_P \cdot \frac{dn(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_P(t) \quad (J)$$

wobei:

J_P : Polares Trägheitsmoment von Propeller, Welle und Schwungmasse

Q_e : Drehmoment des Motors

Q_P : Drehmoment am Propeller

n : Wellendrehzahl

Es gelten die vereinfachten Manövrierbeziehungen

$$\text{Surge: } F_x = m_x \cdot (\dot{u} - v \cdot r) \quad (M1)$$

$$\text{Sway: } F_y = m_y \cdot (\dot{v} - u \cdot r) \quad (M2)$$

$$\text{Yaw: } M_z = I_{zz} \cdot \dot{r} \quad (M3)$$

mit

u : Schiffsgeschwindigkeit in x-Richtung

v : Schiffsgeschwindigkeit in y-Richtung

r : Drehrate des Schiffes

m_x : Schiffsmasse in x-Richtung

m_y : Schiffsmasse in y-Richtung

I_{zz} : Trägheitsmoment des Schiffes um die z-Achse

F_x : Reaktionskräfte auf das Schiff in x-Richtung

F_y : Reaktionskräfte auf das Schiff in y-Richtung

M_z : Reaktionsmomente auf das Schiff um die z-Achse

Dabei bezeichnen die erwähnten Massen die Schiffsmasse einschließlich der angekoppelten hydrodynamischen Massen. Für die Durchführung und Auswertung einer normalen „statischen Probefahrt“ sorgt man dafür, dass $v = 0$ und $r = 0$ sind, so dass Gleichungen (J) (M2) und (M3) vernachlässigt werden können. Gleichung (M1) reduziert sich dann zu $F_x = 0$ mit

$$F_x = T_P(V) - \frac{R_T(V)}{(1-t)} + F_W = 0 \quad (J1)$$

mit einer Störungskraft F_W zur Berücksichtigung von Wind und Seegang.

Für die Behandlung einer „dynamischen Probefahrt“ werden lediglich die Gleichungen (M2) und (M3) vernachlässigt. Es gilt genauer: die Probefahrt wird so durchgeführt, dass die Gleichungen (M2) und (M3) vernachlässigt werden können.

Es folgen:

$$T_P(V) = \frac{R_T(V)}{(1-t)} + F_A(\dot{V}) + F_W \quad (J2)$$

Mit m_H als angekoppelter hydrodynamischer Masse und der Massenverdrängung des Schiffes Δ wobei noch definiert sei $F_A(\dot{V}) = (\Delta + m_H) \cdot \dot{V}$.

Unter Verwendung der üblichen hydrodynamischen Beiwerte J , $K_T(J)$, $K_Q(J)$ von Propellern mit Durchmesser D und Fluidichte ρ (werden nur vorläufig zur Veranschaulichung als bekannt vorausgesetzt) lassen sich die Gleichungen (J) und (M1) nach einigen Umformungen dann als Algebro-Differentialgleichungssystem formulieren:

$$\dot{V}(t) = \frac{1}{(\Delta + m_H)} \cdot \left\{ \rho \cdot n(t)^2 \cdot D^4 \cdot K_T\left(\frac{(1-w) \cdot V(t)}{n(t) \cdot D}\right) - \frac{R_T(V(t))}{(1-t)} - F_W \right\} \quad (ADGL1)$$

$$\dot{n}(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot J_P} (Q_e(t) - \rho \cdot n(t)^2 \cdot D^5 K_Q\left(\frac{(1-w) \cdot V(t)}{n(t) \cdot D}\right)) \quad (ADGL2)$$

$$P_D(V(t)) = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot n(t)^2 \cdot D^5 \cdot K_Q\left(\frac{(1-w) \cdot V(t)}{n(t) \cdot D}\right) \quad (ADGL3)$$

Für ein Schiff der „Schwedeneck“-Klasse („Elisabeth Mann Borgese“) mit dieselektrischem Antrieb mit 1 MW Antriebsleistung und $L_{PP} = 50.4$ m waren alle notwendigen Daten verfügbar und es konnte für verschiedene Parameter für die angekoppelte hydrodynamische Masse und Wind- und Seegangseinfluss eine numerische Simulation von (ADGL) durchgeführt werden.

Dies wird in den Abbildungen 6, 7 und 8 für eine Beschleunigung aus dem Stand auf maximale Drehzahl veranschaulicht: Die Ergebnisse in den Bildern 6 und 7 entstanden ohne Berücksichtigung der Gleichung (J). In Abbildung 8 wird dagegen auch Gleichung (J) berücksichtigt.



Abb. 5. Für das Schiff „Elisabeth Mann Borgese“ wurde das „dynamische Probefahrtsverhalten“ analysiert

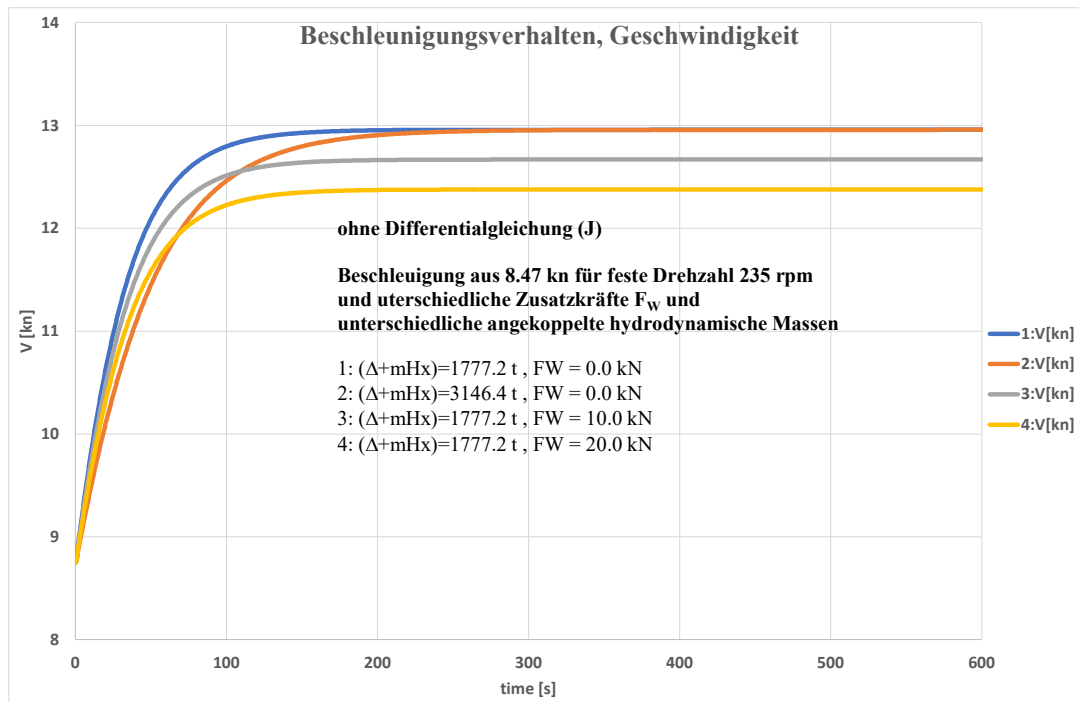


Abb. 6. Ergebnisse der Lösung des Differentialgleichungssystems (ADGL) ohne Gleichung (J) für verschiedene Parameter (Geschwindigkeiten über der Zeit)

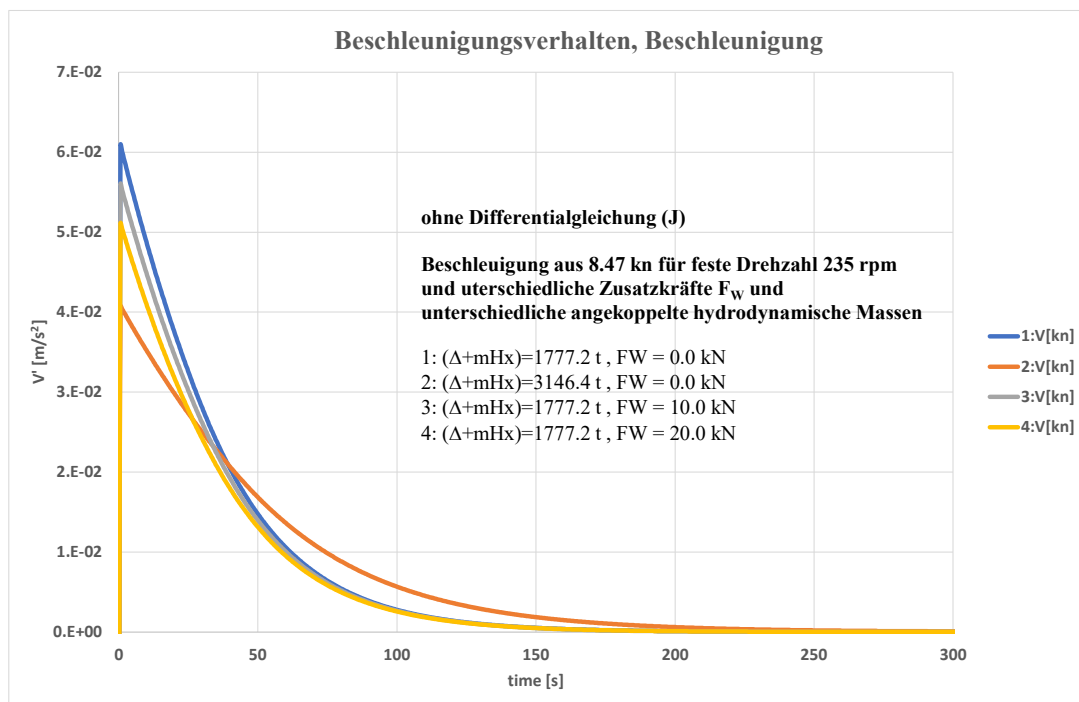


Abb. 7. Ergebnisse der Lösung des Differentialgleichungssystems (ADGL) ohne Gleichung (J) für verschiedene Parameter (Beschleunigungen über der Zeit)

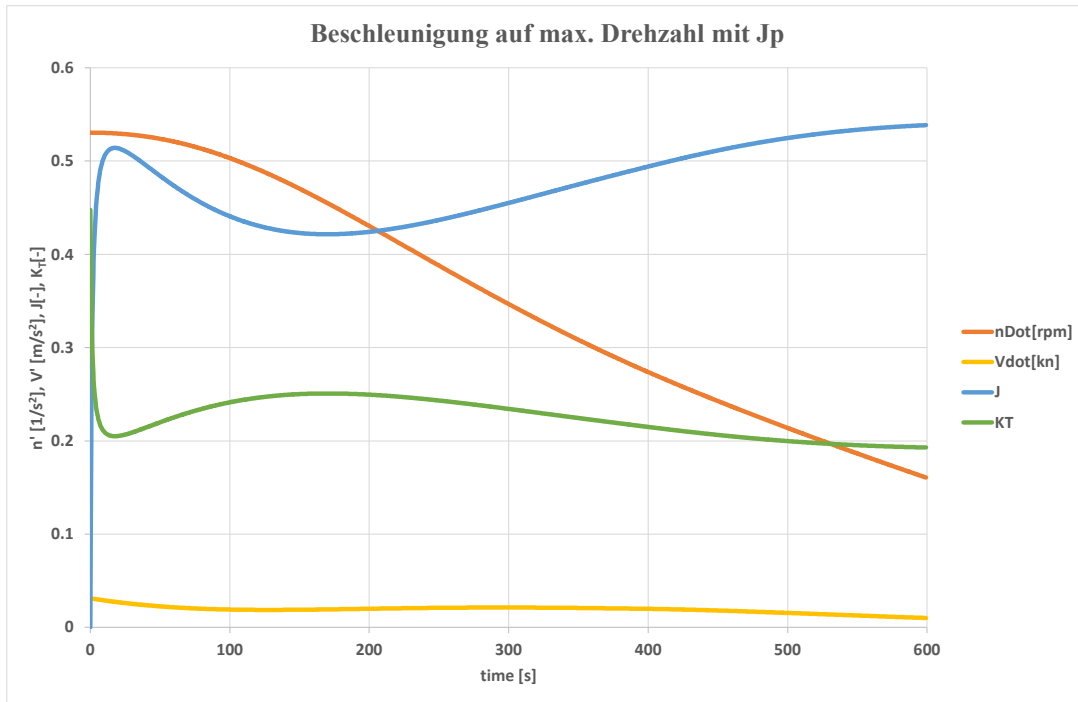


Abb. 8. Ergebnisse der Lösung des Differentialgleichungssystems (ADGL) mit Gleichung (J) für einen festen Parametersatz (Drehzahl, Beschleunigung und Propellerparameter über der Zeit)

Wird Abbildung 6 genauer analysiert, drängt sich die Frage auf, ob bereits in einem eingeschränkten Zeitbereich die Parameter m_{Hx} (m_H) und F_W (F_W) das Verhalten der Kurvenverläufe eindeutig definieren. Damit stellt sich gleichzeitig die Frage, ob sich bei Analyse des Kurvenverhaltens in einem eingeschränkten Zeitbereich diese Parameter eindeutig so bestimmen lassen, dass eine eindeutige Extrapolation dieser Kurven auf einen (theoretisch) unendlichen Zeitbereich möglich ist (Erläuterung Abb. 9).

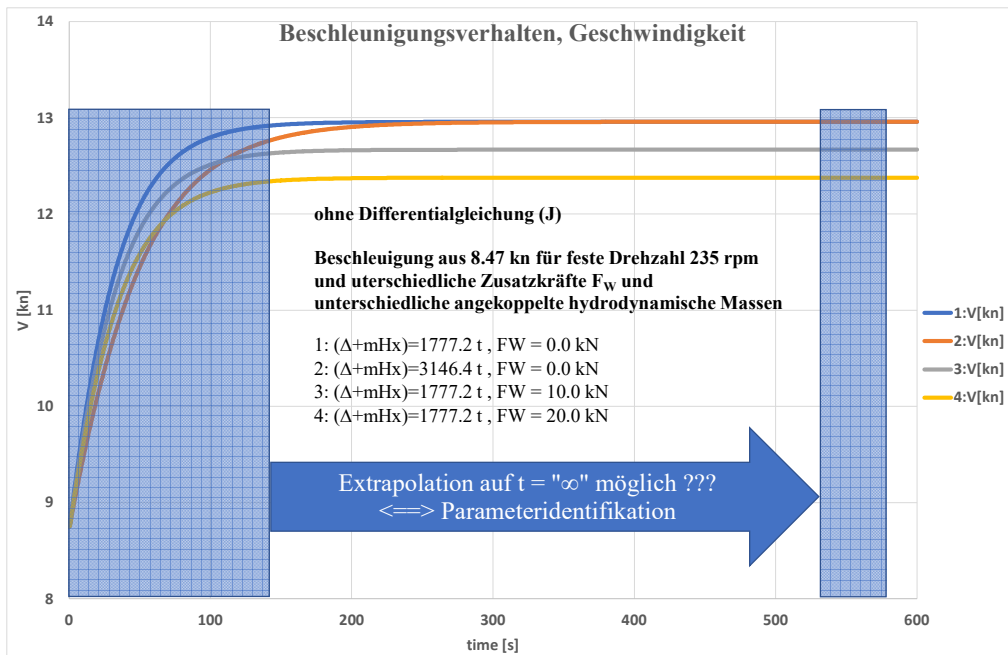


Abb. 9. Ergebnisse der Lösung des Differentialgleichungssystems (ADGL) ohne Gleichung (J) für verschiedene Parameter (Geschwindigkeiten über der Zeit)

Es konnte gezeigt werden, dass eine Extrapolation möglich ist. Die eindeutige Parameteridentifikation über ein kurzes Intervall ist durchführbar. Als Unbekannte können unter anderem auftreten:

$$x_1 = F_W$$

$$x_2 = m_H \text{ (anstelle dessen kann z.B. auch eine Formel von Bertram [2] } m_x = \frac{\Delta}{\pi \cdot \sqrt{\frac{L^3}{V} - 14}}$$

verwendet werden. Dann kann die Anzahl der Unbekannten reduziert werden)

$$x_3 = V_C$$

$$x_4 = f_D \text{ wobei } P_{D,seatrial} = f_D \cdot P_{D,prognose} \text{ (Maß für Schiffs- und propellerbedingte Abweichungen relativ zu den Basisprognosen)}$$

Durch Formulierung eines Approximationsproblems (Vergleich der Messgrößen zu den parameterbehafteten Lösungen von (ADGL)) und Lösung mittels eines Verfahrens zur Minimierung lassen sich dann die Unbekannten ermitteln.

In den Abbildung 10 und 11 wird dargestellt, dass sich auf Basis der Auswertung von kontinuierlichen Messungen eines Hochlaufes mit relativ schneller Drehzulanhebung in Stufen von lediglich 200 s (entsprechend einer schrittweisen Vergrößerung der Lever-Positionen) sich obige Parameter eindeutig schätzen lassen, so dass eine Prognose mit ungestörten Werten für F_W und V_C (keine Umgebungseinflüsse) einen Vergleich mit den Vertragsbedingungen ermöglicht.

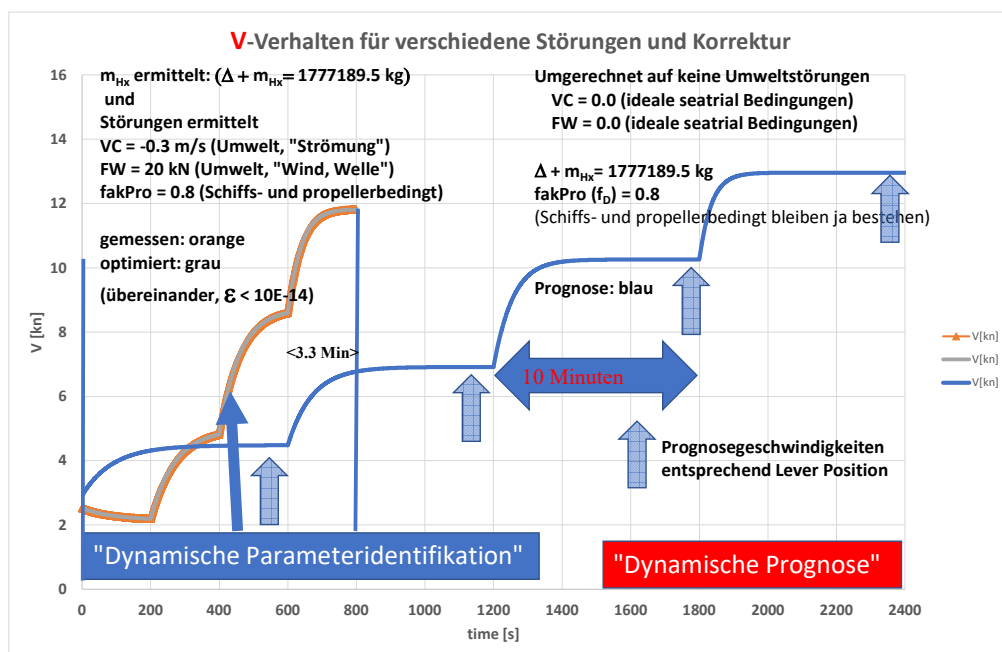


Abb. 10. Stufenweises „Hochschalten“ der Drehzahl zur „dynamischen Parameteridentifikation“ und Extrapolation auf den ungestörten Fall mit langen Übergangszeiten (Geschwindigkeitsverhalten für schnellen Hochlauf und Extrapolation auf (quasi-) stationäres Verhalten)

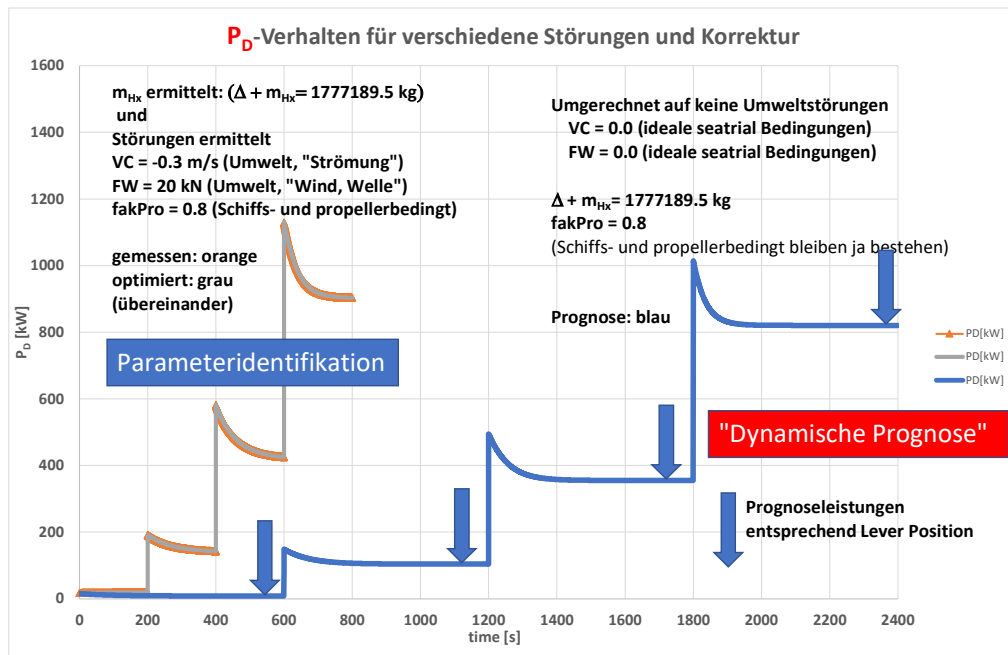


Abb. 11. Stufenweises „Hochschalten“ der Drehzahl zur „dynamischen Parameteridentifikation“ und Extrapolation auf den ungestörten Fall mit langen Übergangszeiten (Leistungsverhalten für schnellen Hochlauf und Extrapolation auf (quasi-) stationäres Verhalten)

5 Zusammenfassung

- Eine Verbesserung der „statischen Probefahrtsauswertungen“ ist durch Ausnutzung der a priori im Allgemeinen vorhandenen Propulsionsprognosen möglich. Dann erscheinen in den betreffenden Gleichungssystemen jeweils nur kleine Korrekturen für die Leistungswerte und die Drehzahlen.
- Bei „statischen Probefahrten“ (ein oder mehrere Double-Runs) lassen sich die Umgebungsparameter so ermitteln, dass eine Probefahrtsauswertung ohne detaillierte Kenntnis von Strömung, Wind- und Welleneinfluss möglich wird.
- Bei der Auswertung einer einzelnen „dynamischen Probefahrt“ lassen sich nicht nur die Umgebungsbedingungen (summarischer Einfluss von Strömung, Wind- und Seegang) bestimmen, sondern auch die „angekoppelte hydrodynamische Masse“ und auch qualitative Veränderungen im Antriebsstrang (speziell Propeller) und/oder Schiffswiderstand ermitteln. Dafür ist theoretisch nur eine einzelne „step-up-Beschleunigung“ in mindestens vier Drehzahlstufen zu realisieren.
- Bei Übertragung dieser Vorgehensweise auf die Auswertung von Modellversuchen wäre damit auch ggf. eine Eliminierung einer „Sekundärströmung“ in der Schlepprinne möglich (entspräche der Ermittlung von V_C).
- Es sind weitere Untersuchungen zur Robustheit des Verfahrens hinsichtlich von Messfehlern erforderlich.
- Zur Anwendung der „dynamischen“ Probefahrtsauswertung ist eine kontinuierliche Aufzeichnung der Signale (Geschwindigkeit, Leistung, Drehzahl,...) erforderlich. Diese erfolgt in heutiger Zeit im Allgemeinen auch, aber die Daten stehen meist „nach außen“ in stark reduzierter Form nur als Mittelwerte zur Verfügung.
- Die Daten aus den Prognoserechnungen (Propellerfreifahrt, Widerstand Propulsionsprognose) sind förderlich für die Genauigkeit der Auswertung (weil dann immer nur relativ kleine Korrekturwerte ermittelt werden müssen) aber nicht zwingend notwendig (wie bereits bei der „statischen“ Probefahrtsauswertung).

6 Referenzen

- [1] 23. ITTC
The Specialist Committee on Speed and Powering Trials, Final Report and Recommendations to the 23rd ITTC, 2002
- [2] Bertam, V.
Practical Ship Hydrodynamics, 2nd edition, Elsevier, Amsterdam,..., 2012, ISBN-13: 978-1-4832-9971-6
- [3] Kim Chang-wook
Technical information of revised ISO 15016:2015 standard for speed trials for verification of EEDI, Korean Register, 11. September 2015
- [4] Lloyd's Register Group Limited
Sample Energy Efficiency Design Index (EEDI) Speed Trial Plan, November 2012 Version 3.0
- [5] MacPherson, D. M.
Sea Trial Analysis: The Value In The Data, HydroComp, Inc. All rights reserved. Presented at IBEX 2003.
- [6] Schulze, R.
Thrust- and Power Full Scale Measurements at the Propeller Shaft, Report 357/4473, SVAtch GmbH, Potsdam April 2016
- [7] Schulze, R.
Seatrial Analysis with restricted Information, STG Sprechtag Vorhersage der Propulsion von Schiffen unter realen Bedingungen, Berlin, 08. November 2019
- [8] Wagner, K.: Auswertung einer traditionellen Meilenfahrterprobung nach der Methode von M. Schmiechen, Rostock März 2015 (Workshop 14.07.2015)
- [9] Wiens, D.: Methode nach Schmiechen, Voith und Universität Ulm, Institut für Numerische Mathematik, Vortrag 22.06.2016
- [10] Wiens, D.: Analyse und Quantifizierung von Unsicherheiten der Propulsionseigenschaften bei Schiffen aus Manövern mit gezielter Variation der Propellerbelastung, Masterarbeit, Universität Ulm, 27.12.2016
- [11] Schmiechen: 25 Jahre Rationale Theorie der Propulsion, 100. Haupt-Versammlung der STG in Berlin 2005
- [12] Viviani, M; Altosole, M; Cerruti, M; Menna, A.; Dubbioso, G.
Marine Propulsion System Dynamics During Ship Manoeuvres, <https://www.researchgate.net/publication/237552135>,_01 June 2014