
Name der Forschungsstelle(n)

/
AiF-Vorhaben-Nr. / GAG

Bewilligungszeitraum

Schlussbericht für den Zeitraum :

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWA über die



geförderten IGF-Forschungsvorhaben

☐ Normalverfahren

☐ Fördervariante ZUTECH

Forschungsthema :

Für ein ZUTECH-Vorhaben sind folgende zusätzliche Angaben zu machen:

Der fortgeschriebene Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

☐ ist beigelegt

☐ liegt bereits vor

☐ wird fristgerecht nachgereicht

Ort, Datum

Unterschrift der/des Projektleiter(s)



Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.

DST - Development Centre for Ship Technology and Transport Systems

**Verbesserung der Stopp- und Manövrierfähigkeit
schnellerer Flachwasserfahrgastschiffe**

**Bericht 1761
April 2006**

Zusammenfassung	3
Aufgabenstellung	4
1. Entwurf des Fahrgastschiffes	7
1.1 Linienriss des Fahrgastschiffes	7
2. Modellversuche	9
2.1 Widerstands- und Propulsionsversuche	9
2.1.1 Widerstandsversuche	10
2.1.2 Propulsionsversuche	10
2.2 Manövierversuche	11
2.3 Stoppversuche	12
3. Versuche mit zusätzlichen Maßnahmen zur Reduzierung des Stoppweges	16
3.1 Instationäre Widerstandsversuche	19
3.2 Auslaufversuche	19
3.3 Bewertung der Ergebnisse	19
3.4 Stoppversuch mit programmiertem Ablauf	21
3.5 Unterschiedliche Umsteuerzeiten für die Propellerdrehzahl	23
3.6 Zusätzliche Bremswirkung durch den Einsatz der Ruderblätter	23
3.7 Einfluss des achterlichen Trimms	24
3.8 Bewertung der Stoppversuche	24
4. Untersuchungen mit numerischen Berechnungsmethoden	25
4.1 Simulation des Stoppens mit BESHwa	25
4.2 Simulation der Propellerströmung im Stoppversuch	27
4.2.1 Flächenkraftmodell	27
4.2.2 Verteilung der Propellerkräfte	28
4.2.3 Simulation mit den Werkzeugen für rotierende Antriebssysteme	29
4.3 Simulationen für die Schiffsgeometrie	30
4.3.1 Validierungsrechnung	30
4.3.2 Stoppmanöver mit dem Flächenkraftmodell	30
4.3.3 Stoppmanöver mittels rotierender Antriebsorgane	31
4.4 Beschreibung des Gesamtkonzepts und Bewertung der Verbesserungsmöglichkeiten	37
Literatur	39
Anlagenverzeichnis	40

Zusammenfassung

Seit Jahren hat sich der Bau von Fahrgastschiffen als stabiles Marktsegment des deutschen Binnenschiffbaus erwiesen. Bei Neubauten wird von den Reedereien verlangt, dass ein neues Schiff in Bezug auf Geschwindigkeit, Stoppvermögen und Manövrierfähigkeit Verbesserungen aufweist. In dem vorliegenden Forschungsvorhaben wurde ein Schiffsentwurf erstellt, der diesen Anforderungen gerecht wird. Zur Verbesserung des Stoppvermögens wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, um verschiedene Maßnahmen zu erproben und zu bewerten.

Ergebnisse:

- Besseres Verständnis des Stoppmanövers
- Prognose für den Stoppweg möglich
- Simulationsrechnung des dynamischen Verhaltens des Schiffes im Stoppmanöver
- Numerische Simulation des rückwärts drehenden Propellers im Stoppmanöver
- Bewertung von einzelnen Maßnahmen möglich
- Empfehlungen für die Anforderungen an Fahrgastschiffe

„Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht“

Das Forschungsvorhaben 13963 N mit dem Titel „Verbesserung der Stopp- und Manövrierfähigkeit schnellerer Flachwasserfahrgastschiffe“ wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit über die AiF gefördert.

Aufgabenstellung

Seit Jahren hat sich der Bau von Fahrgastschiffen als stabiles Marktsegment des deutschen Binnenschiffbaus mit positiven Zuwachsraten erwiesen. Der Anteil der Fahrgastschiffe an der Anzahl der Neubauten belief sich im Durchschnitt über diesen Zeitraum auf gut 30 %, der wertmäßige Anteil liegt deutlich darüber. Von daher kommt dem Fahrgastschiffbau für die deutschen Binnenschiffswerften eine erhebliche und zunehmend wachsende Bedeutung zu.

Gleichzeitig zeigt sich von der Nachfrageseite, also von den Reedereien her, ein eindeutiger Trend zu schnelleren Schiffen. Gewünscht werden Fahrzeuge, die über die heutigen Höchstgeschwindigkeiten von rund 20 km/h deutlich hinausgehen. Dies gilt nicht nur für Schiffe, die auf tiefen Binnenseen vor allem in Süddeutschland und der Schweiz eingesetzt werden, sondern auch für Fahrgastschiffe, die auf den Binnenwasserstraßen und hier vorrangig auf dem Rhein verkehren. Auch wenn diese Geschwindigkeiten auf den Binnenwasserstraßen zum Teil nur abschnittsweise und bei bestimmten Wasserständen erreicht werden können, werden diese Geschwindigkeiten gewünscht, um über Imageeffekte zusätzliche Nachfrage zu generieren und sich im Wettbewerb gegenüber konkurrierenden Angeboten zu behaupten. Für diese schnelleren Schiffe gelten jedoch die gleichen Zulassungsvoraussetzungen, wie für alle anderen Fahrzeuge, die die Binnenwasserstraßen befahren.

Für den Nachweis des Stoppvermögens nach der Rheinschiffsuntersuchungsordnung (Richtlinie 2, (siehe Anhang) nach §1.07 der RheinSchUO) gilt z.B., dass Fahrzeuge mit einer Länge unter 110 m und maximal 11,45 m Breite aus einer Vorausschwindigkeit von 13 km/h auf strömungslosen Gewässern nach einer Strecke von höchstens 305 m zum Stillstand gekommen sein müssen. Dies ist insofern unproblematisch, als dass die Stoppstrecke, die nachzuweisen ist, unabhängig von der maximal erreichbaren Geschwindigkeit ist. Für schnellere Fahrzeuge, die stärker motorisiert sind, aber aufgrund des kleineren Blockkoeffizienten eine geringere Masse aufweisen als gleich lange Güterschiffe, ist diese Forderung relativ leicht zu erfüllen, vor allem, wenn die Schiffe deutlich kürzer als 110 m sind. Bei größeren Fahrgastschiffen von z.B. 100 m Länge verringert sich die Stoppstrecke bezogen auf die Schiffslänge auf den Wert 3.

Schwierig wird jedoch der Nachweis des Stoppvermögens innerhalb von 2,5 Schiffslängen aus voller Geschwindigkeit, wie er z.B. für die süddeutschen und auch die Schweizer Seen gefordert wird.

	Länge [m]				
V km/h]	25	50	75	100	150
5	2,0	4,0	6,0	9,0	16,0
10	9,0	16,0	24,0	34,0	59,0
15	20,0	34,0	51,0	72,0	125,0
20	33,0	56,0	86,0	121,0	209,0
30	65,0	111,0	168,0	238,0	412,0

Tabelle 1: Erforderliche Bremskraft FB [kN] für das Stoppmanöver in 2,5 Schiffslängen

Die rot markierten Werte in der Tabelle 1 zeigen die Bremskraft in kN, die für schnellere Fahrgastschiffe erforderlich sein werden. Diese Kräfte sind höher als bei großen, langsamen Binnenschiffen mit hoher Verdrängung (blaue Werte).

Die für die Vorfahrt nötige Leistung wird auch bei schnelleren Fahrzeugen mit geringem Tiefgang üblicherweise problemlos aufgebracht indem z.B. Zweischaubenanlagen installiert werden. Durch geeignete Zuführung mittels Tunnel kann auch beim Einsatz des Schiffes auf flachem Wasser eine saubere Zuströmung zum Antriebsorgan gewährleistet werden. Durch geeignete konstruktive Maßnahmen wird, falls notwendig, verhindert, dass durch den Sog (Unterdruck) vor dem Propeller von den Seiten her Luft eingesaugt wird. Bei konventionellen Binnengüterschiffen ist eine solche Maßnahme beispielsweise eine Schürze, die die seitlichen Ränder des Propellertunnels nach oben hin abschirmt.

Um den erforderlichen rückwärts gerichteten Schub zu erzeugen, muss während des ganzen Manövers verhindert werden, dass der Propeller Luft ansaugt. Dadurch, dass der Propeller in diesem Fall in einem Luft-Wasser-Gemisch mit erheblich geringerer mittlerer Dichte arbeitet, beträgt der erzeugte Schub nur einen Bruchteil des unter Normalbedingungen erzeugten Schubes.

Diese Problematik des schnellen effektiven Stoppens aus hoher Geschwindigkeit ist einer der beiden Schwerpunkte dieses Forschungsvorhabens.

Ein weiterer sicherheitsrelevanter Aspekt, der aus den höheren Geschwindigkeitsanforderungen resultiert, ist die Manövrierfähigkeit der Fahrgastschiffe, da gerade auf den breiten- und tiefenmäßig begrenzten und verkehrsreichen Binnengewässern eine erhöhte Anforderung an die Manövrierfähigkeit besonders wichtig ist.

Wenn es gelingt, schnellere Fahrgastschiffe so auszulegen und zu entwerfen, dass bei optimalen Leistungen im Betriebspunkt der hohen Geschwindigkeit gleichzeitig die geforderten Eigenschaften hinsichtlich der Stoppfähigkeit und der Manövrierbarkeit sicherzustellen, kann das Produkt „schnelleres Fahrgastschiff“ erfolgreich auf dem Markt platziert werden.

Zur Erreichung dieses Forschungszieles soll ausgehend von einem aktuellen mittelgroßen flachgehenden Binnenfahrgastschiff mit Zweischaubenantriebsanlage ein Entwurf für ein Fahrgastschiff für hohe Geschwindigkeiten erstellt werden. Das Stopp- und Manövrierverhalten wird durch systematische Modellversuche analysiert.

Die hierbei möglichen Variationen, wie z.B. Art und Anordnung der Antriebsanlage, Formgebung des Hinterschiffs, zusätzliche Anhänge zur Verbesserung der Stopeigenschaften, spezielle Manövrierorgane etc. werden im Modellversuch untersucht und auch erstmals als numerische Simulation dargestellt. Als Abschluss wird ein Gesamtkonzept entwickelt, welches sowohl die gewünschten Eigenschaften des schnelleren Fahrgastschiffes als auch die nachzuweisenden Leistungsmerkmale hinsichtlich der Zulassungsvorschriften erfüllt.

In dem projektbegleitenden Ausschuss arbeiten die Vertreter namhafter Reedereien und deutscher Schiffswerften mit. Dadurch wird sichergestellt, dass bei den Forschungsarbeiten Erfahrungen der Praxis mit einfließen und auch die Neuentwicklung so orientiert wird, dass eine Anwendung in den Unternehmen möglich wird.

Dieses Vorhaben ist sowohl grundlagenorientiert als auch produktorientiert. Es befasst sich sowohl mit grundlegenden Aspekten schnellerer Fahrzeuge und hat zum Ziel, Lösungsmöglichkeiten für die Problematik des nachzuweisenden Stoppweges und der Verbesserung der Manövrierfähigkeit zu erarbeiten. Die dabei zu erwartenden Erkenntnisse und Lösungsmöglichkeiten lassen sich auch auf andere Schiffstypen mit vergleichbaren Abmessungen und Leistungsdaten übertragen und sind daher übergreifend nutzbar. Dabei steht jedoch ein spezielles Produkt, nämlich schnellere Fahrgastschiffe für den Einsatz auf tiefem und flachem Wasser, im Vordergrund und ist auch konkretes Objekt der geplanten Untersuchungen. Das primäre Ziel des Projektes richtet sich ganz direkt auf die Verbesserung der Eigenschaften des Produktes „Fahrgastschiff“, und die Ergebnisse sollen auch direkt zur Verbesserung der vorhandenen und der Entwicklung neuer Schiffsentwürfe dienen.

1. Entwurf des Fahrgastschiffes

1.1 Linienriss des Fahrgastschiffes

Bei dem Entwurf des Fahrgastschiffes wurde in Zusammenarbeit mit Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses darauf geachtet, dass eine hohe Geschwindigkeit erreicht werden kann. Als Zielwert wurde angestrebt, dass eine Geschwindigkeit von 30 km/h bei moderatem Leistungsbedarf möglich ist.

Der Entwurf mit der Bezeichnung M1761 weist folgende Hauptabmessungen auf:

Länge über Alles	L	56,00 m
Breite auf Spanten	B _m	7,96 m
Tiefgang	T	1,55 m
Verdrängung	∇	320,10 m³

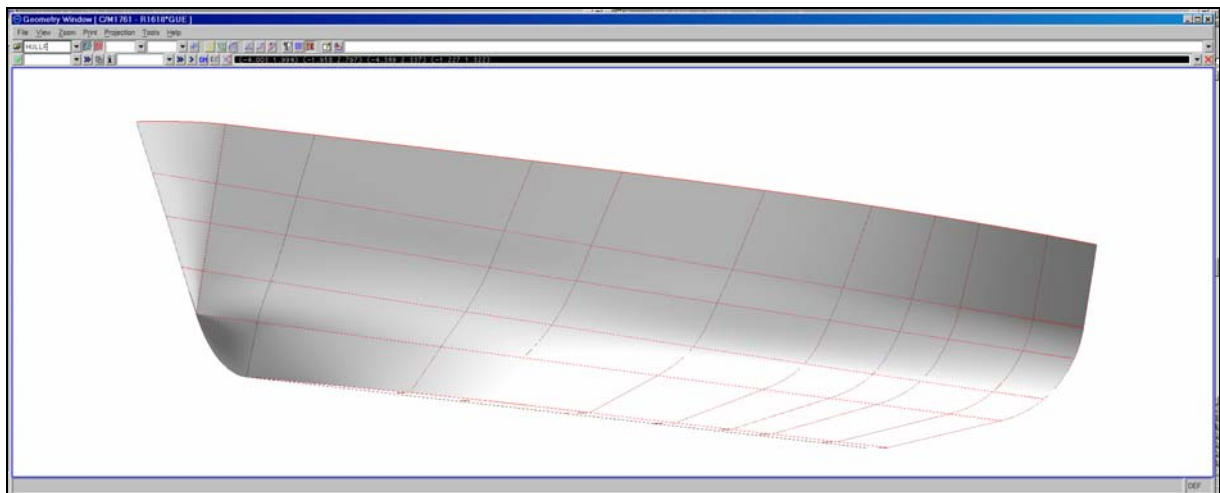


Abbildung 1: Vorschiff M1761

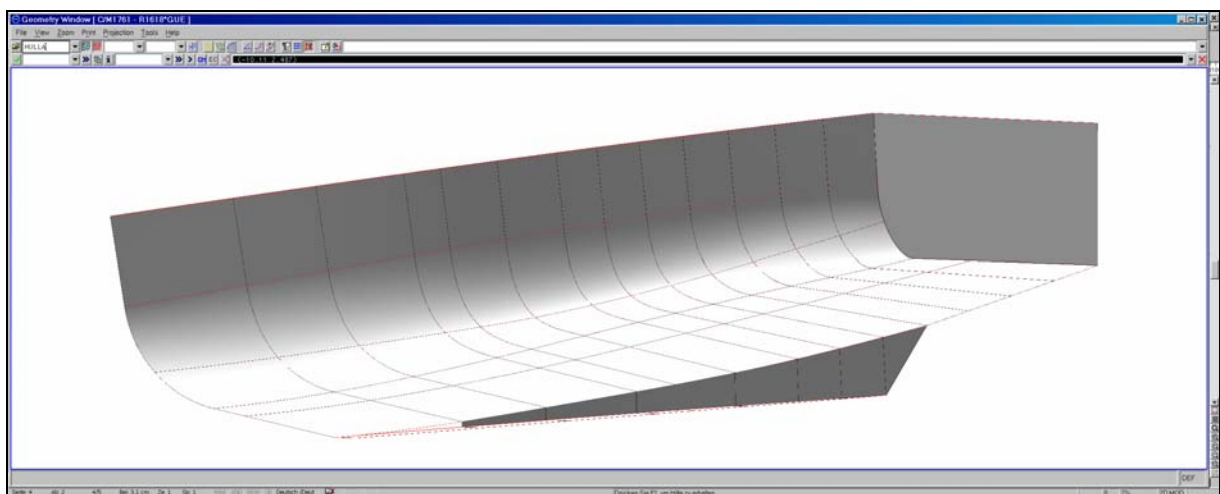


Abbildung 2: Hinterschiff M1761

Zum Antrieb des Schiffes sind zwei Propeller mit dem Durchmesser von $D_P = 1,30$ m vorgesehen. Die Propeller sind an fest eingebauten Wellenanlagen angeordnet.

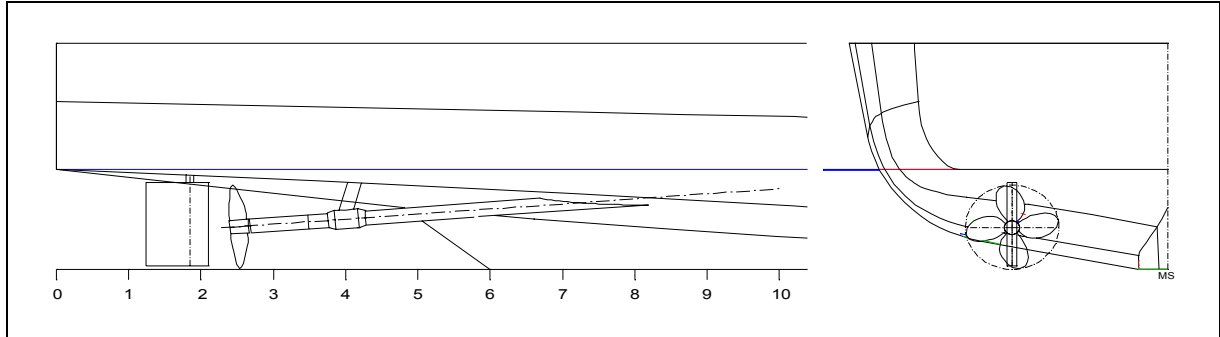


Abbildung 3: Schema Propulsionsanlage

Auf die Verwendung von steuerbaren Ruderpropellern wurde hier verzichtet, da die Anforderung der hohen Geschwindigkeit bei moderater Leistung einen möglichst hohen Gesamtwirkungsgrad erfordert. Dies ist beim Einsatz von Ruderpropellern nicht unbedingt gegeben, da durch das zusätzliche Unterwasser-Getriebe vor dem Propeller mechanische Verluste entstehen und auch die freie Anströmung des Propellers behindert wird.

2. Modellversuche

Verwendet wurde das Modell M1761 in der Version D. Der erste Abschnitt der Modellversuche diente zur Feststellung der Eigenschaften des Grund-Entwurfs in Bezug auf:

- Widerstand
- Propulsion
- Stoppvermögen
- Ausweichmanöver

2.1 Widerstands- und Propulsionsversuche

Die Versuche wurden im großen Flachwassertank des DST durchgeführt, der eine Breite von $B = 10,0$ m besitzt. Bezogen auf den gewählten Modellmaßstab entspricht diese einer korrespondierenden Fahrwasserbreite von $B = 120$ m.

Es wurden 4 Wassertiefen eingestellt:

h_1	=	2,00 m
h_2	=	5,00 m
h_3	=	7,50 m
h_4	=	12,00 m

Die Wassertiefe $h = 2,00$ m entspricht der Fahrt auf Flüssen bei einer Kleinwasserperiode. Unter diesen Bedingungen kann keine hohe Geschwindigkeit erreicht werden, bei einer reduzierten Wellenbildung soll aber eine Fahrt von ca. 10 km/h bis 11 km/h möglich sein.

Die Wassertiefen $h = 5,00$ m und $7,50$ m entsprechen der Fahrt auf Flüssen mit einer größeren Wassertiefe. Dies ist ein besonders häufiges Einsatzgebiet für diesen Schiffstyp. Hier soll das Schiff, ohne ein übermäßig hohes Wellenbild zu erzeugen, eine Geschwindigkeit von mindestens 20 km/h (bei $h = 5,00$ m) bzw. 24 km/h (bei $h = 7,50$ m) erreichen, um gegenüber den bereits existierenden Schiffen einen Geschwindigkeitsvorteil zu erzielen.

Die Wassertiefe $h = 12,00$ m stellt die Fahrt des Schiffes im Mündungsgebiet der Flüsse und auf den tiefen Binnenseen, z.B. im Alpenraum, dar. Der Flachwassereinfluss macht sich unter diesen Bedingungen nicht mehr bemerkbar, so dass die erzielbare Geschwindigkeit durch eine geeignete Rumpfform und einen hohen Wirkungsgrad der Propulsionsanlage verbessert werden kann.

2.1.1 Widerstandsversuche

Mit dem Modell wurden auf korrespondierenden Wassertiefen von 2 m bis 12 m Widerstandsversuche (Rumpf ohne Propeller) durchgeführt. Der Tiefgang betrug hierbei $T_m = 1,55$ m.

Der Reibungsabzug wird nach ITTC-57 und dem Zusatzwiderstand $C_A = 0,0002$ bei einer Dichte $\rho = 998,5$ kg/m³ errechnet. Die Diagramme für die Großausführung sind der Anlage B zu entnehmen, in den Tabellen der Anlage C sind die vollständigen Daten enthalten.

2.1.2 Propulsionsversuche

Zur Ermittlung der Propulsionseigenschaften werden die Propellerdrehzahl, das Drehmoment, der Schub sowie der Trimm und die Absenkung aufgezeichnet. Für jede gefahrene Geschwindigkeit werden mindestens 3 Messungen mit unterschiedlichen Propellerdrehzahlen durchgeführt. Durch Interpolation wird die Propellerdrehzahl bestimmt, bei der sich das Modell im Selbstpropulsionspunkt befindet.

Die Diagramme der Anlage B zeigen die Ergebnisse für die Großausführung, ohne Berücksichtigung des Propellermaßstabeffekts. Die Tabellen der Anlage C enthalten die vollständigen Daten.

2.2 Manövierversuche

Die Anforderungen an die Ausweich- und Wendeeigenschaften der Fahrzeuge sind in der Richtlinie Nr. 1 (siehe Anhang) für die Untersuchungskommission nach §1.07 der Rheinschiffsuntersuchungsordnung für den Rhein festgelegt.

Entsprechend der Richtlinie wurden mit dem Modell M1761 Manövierversuche durchgeführt. Die nachfolgende Tabelle enthält alle Ergebnisse.

Fahrt-Nr.	Anfangs- geschwindig- keit [km/h]	Ruder- winkel [°]	Stützdreh- geschwindig- keit [°/min]	T ₁ [s]	T ₂ [s]	T ₃ [s]	T ₄ [s]
0110503	18,0	20	20	4,7	10,8	14,4	20,4
0110504	18,0	20	20	5,2	11,3	15,1	21,2
0110505	18,0	45	28	5,2	14,3	18,4	28,2
0110506	18,0	45	28	5,0	14,0	17,3	27,7
0110507	18,0	45	28	5,2	14,6	18,5	28,3
0120501	20,0	45	28	4,9	13,1	15,5	24,9
0120503	20,0	45	28	4,1	11,6	14,5	24,1
0120504	20,0	45	28	3,9	10,5	13,4	22,2
0120506	21,0	20	20	3,6	9,1	10,9	16,0
0120507	21,0	20	20	3,4	8,8	10,9	15,7
0130503	21,7	20	20	2,9	7,9	9,8	14,7
0130503b	21,7	20	20	3,2	7,8	9,7	14,7
0130504	22,0	45 ¹	28	3,6	9,0	11,2	17,5
0130505	21,9	45 ¹	28	3,9	9,8	11,8	18,0
0130506	21,0	45 ¹	28	4,2	9,9	12,2	18,8

¹ Ruderwinkel wurde aufgrund der frühzeitig erreichten SOLL- Drehgeschwindigkeit nicht erreicht

Tabelle 2: Ergebnisse der Manövierversuche

Bei einem h/T-Verhältnis von $h/T = 3,33$ im Versuch beträgt die maximale Ausweichzeit (T₄) 28,3 Sekunden. Damit liegt die benötigte Ausweichzeit deutlich über den Anforderungen der Rheinschiffsuntersuchungsordnung und somit wird eine sehr gute Ausweicheigenschaft des Fahrzeuges festgestellt.

Die ausgezeichnete Manövrierfähigkeit des Schiffes ist bereits im Grundentwurf sichergestellt. Deshalb wurde im Rahmen des Vorhabens die Manövrierfähigkeit nicht weiter optimiert, sondern der Schwerpunkt auf die Verbesserung der Stoppeigenschaften gelegt.

2.3 Stoppversuche

Die Stoppversuche wurden in dem erprobten Verfahren des geführten Stoppversuchs durchgeführt.

Für die Stoppversuche wurde das Modell durch den Schleppwagen auf die geforderte Ausgangsgeschwindigkeit beschleunigt und freigegeben. Das Stoppen des Modells und die anschließende Beschleunigung in Rückwärtsrichtung erfolgten ausschließlich über den rückwärts gerichteten Schub der Modell-Propulsionsanlagen. Aufgezeichnet wurden dabei die Modellgeschwindigkeit und der Stoppweg. Der Versuch war jeweils dann beendet, wenn das Modell eine konstante Rückwärtsgeschwindigkeit erzielt hatte.

Beispielhaft werden in der Abbildung 4 der Weg-Zeit-Verlauf und der daraus abgeleitete Geschwindigkeitsverlauf für die Großausführung aufgezeichnet.

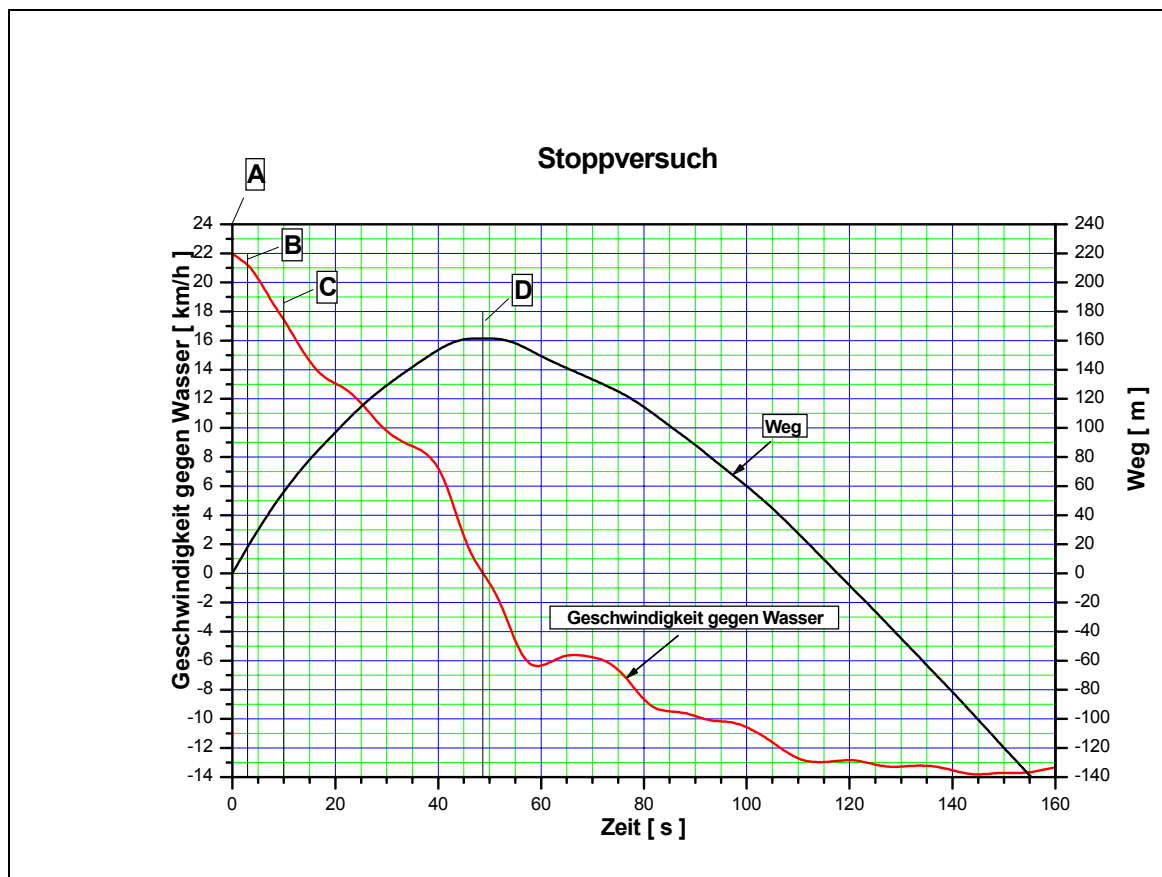


Abbildung 4: Stoppversuch Modell M1761

In Abbildung 4 sind nachfolgende Kenngrößen aufgeführt:

- [A] Kommando "Stopp"
- [B] Propeller steht
- [C] Propeller dreht rückwärts
- [D] $v = 0$ gegen Wasser

Die Zeit zwischen [A] und [B] beträgt ausgehend von den Modellversuchen 3 Sekunden. Üblicherweise ist die Zeit bei den Großausführungen größer und auch unterschiedlich. Um der Realität nahe zu kommen, wird nachfolgend die Zeit zwischen [A] und [B] mit 5 Sekunden angenommen. Das bedeutet, der aus dem Modellversuch errechnete Stoppweg verlängert sich abhängig von der Ausgangsgeschwindigkeit v_0 um $v_0 \times 2 \text{ s} = 6,111 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 12,22 \text{ m}$. Die Zeit zwischen [B] und [C] beträgt annähernd konstant 7 Sekunden. Die Zeit zwischen [C] und [D] beschreibt die aktive Verzögerung bis zum Stillstand gegen Wasser. Die Zeit nach [D] beschreibt die Beschleunigungsphase in Rückwärtsrichtung bis zum Erreichen einer bestimmten Geschwindigkeit.

Bezogen auf die Abbildung 4 bedeutet dieses:

Phase	Zeit von – bis [s]	Δt [s]	Weg [m]	Δs [m]
plus 2 Sekunden		2	-12,2	12,2
[A] - [B]	0 – 3	12	18,8	31,0
[B] - [C]	3 – 10	12	55,0	67,2
[C] - [D]	10 – 48	85	161,4	173,6

Tabelle 3: Daten des Stoppversuchs

Die maximale Rückwärtsgeschwindigkeit des in Querrichtung gefesselten Modells beträgt im Beispiel 13,8 km/h.

Modellwerte				Schiffwerte h = 12 m				
Geschw. v_i [m/s]	Drehzahl n [1/sec]	Strecke bis $v = 0$ [m]	Zeit bis $v = 0$ [sec]	Geschw. v_i [km/h]	Drehzahl n [1/min]	Nenn- leistung P_d [kW]	Strecke bis $v = 0$ [m]	Zeit bis $v = 0$ [sec]
2.03		17.31	17.5	24.0			254.1	57.6
2.19		18.25	18.3	26.0			269.9	60.4
1.86		16.82	18.7	22.0			243.3	61.4
1.86	21.00	15.1	15.9	22.0			224.6	52.3
2.03	23.40	17.2	16.4	24.0			252.9	54.0
2.19	28.00	17.92	16.7	26.0			266.3	55.0
2.03	18.30	17.33	20.0	24.0		147	254.4	65.8
2.19	22.56	16.05	16.3	26.0		312	246.0	53.6
2.36	22.74	15.6	15.5	28.0		426	246.7	51.0
2.53	26.90	14.45	14.7	30.0		562	239.8	48.3
2.03	18.30	17.33	20.0	24.0		147	254.4	65.8
2.03	22.56	16.05	16.3	24.0		312	240.5	53.6
2.03	22.74	15.6	15.5	24.0		426	235.6	51.0
2.03	26.90	14.45	14.7	24.0		562	223.2	48.3
1.52	16.27	15.8	19.9	18.0	297	110	221.1	65.5
1.52	16.27	13.1	16.1	18.0	297	110	191.3	53.0
1.52	16.27	12.7	15.4	18.0	297	110	187.0	50.7
1.69	18.31	14.5	16.9	20.0	334	150	212.6	55.6
1.69	18.31	14.0	16.4	20.0	334	150	207.2	54.0
1.86	20.30	15.3	15.7	22.0	370	210	226.8	51.7
1.86	20.30	15.7	16.5	22.0	370	210	230.6	54.3
2.03	22.56	15.7	15.5	24.0	411	320	236.7	51.0
2.03	22.56	16.0	15.8	24.0	411	320	239.9	52.0
2.19	24.70	16.2	15.0	26.0	450	425	247.7	49.4
2.19	24.70	15.8	13.9	26.0	450	425	243.3	45.7
2.36	26.90	17.4	15.3	28.0	490	620	266.2	50.4
2.36	26.90	17.3	15.3	28.0	490	620	264.6	50.4

Tabelle 4: Ergebnisse der Stoppversuche

Das Stoppverhalten des Modells M1761 war einwandfrei und entspricht dem Stand der Technik. Die Propeller arbeiten im Verlauf des Manövers ohne nennenswerte Störung durch Lufteinbruch. Bei den Versuchen wurde mit der Rückwärtsdrehzahl die Antriebsleistung eingestellt, die für die jeweilige Vorausgeschwindigkeit erforderlich ist. Der Stoppweg kann dann in Abhängigkeit von der Ausgangsgeschwindigkeit dargestellt werden:

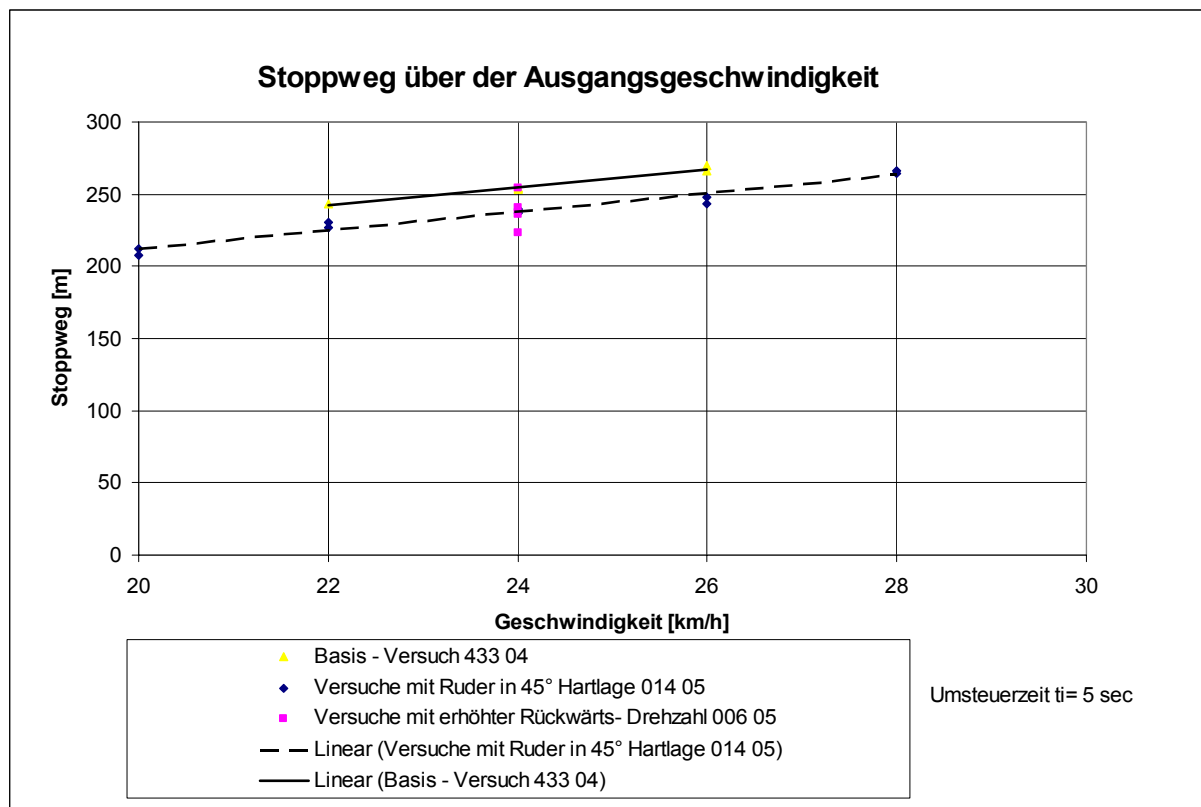


Abbildung 5: Stoppweg als Funktion der Ausgangsgeschwindigkeit

Es zeigt sich, dass der Stoppweg angenähert linear von der Ausgangsgeschwindigkeit abhängt. Wenn man eine Umsteuerzeit von 10 Sekunden berücksichtigt (Zeitbedarf für das Umsteuern der Propulsionsanlagen von „voll voraus“ auf „voll zurück“), ist ein Stoppweg von ca. 240 m bis 270 m zu erwarten. Dieses Stoppvermögen entspricht zwar in allen Fällen den Anforderungen der Rheinschiffsuntersuchungsordnung, der Stoppweg ist aber deutlich größer als die Vorgabe „2,5 x Schiffslänge“ (ca. 130 m). Als Ergebnis der ersten Versuche stellt sich heraus, dass der Stoppweg um ca. 100 m weiter verkürzt werden muss. Mit zwei Maßnahmen wurde versucht, bereits mit der Grundversion des Modells kürzere Stoppwege zu erzielen:

1. Erhöhte Rückwärtsdrehzahl im Manöver: Hier wurde die Rückwärtsdrehzahl bzw. Leistung höher angesetzt, als für die Vorausgeschwindigkeit erforderlich ist. Durch diese Maßnahme lässt sich der Stoppweg um ca. 30 m reduzieren.
2. Ruder in Hartlage: Hier werden die Ruderblätter gegensinnig in Hartlage gebracht (ca. 45°), ohne dass dabei eine einseitige Ruderquerkraft entsteht. Hiermit verkürzt sich der Stoppweg im Mittel um 18 m.

Nach den Stoppversuchen mit der Grundversion des Fahrgastschiffes musste nach Möglichkeiten gesucht werden, die Stoppwege weiter deutlich zu verkürzen.

3. Versuche mit zusätzlichen Maßnahmen zur Reduzierung des Stoppweges

Nach Diskussion im projektbegleitenden Ausschuss wurde deutlich, dass effektive Maßnahmen zur Reduzierung des Stoppweges in der Anfangsphase des Manövers einsetzen müssen. In dieser ersten Phase ist die Geschwindigkeit des Schiffes hoch und ein großer Teil des Stoppweges wird bereits innerhalb der Umsteuerzeit und in der Anfangsphase des Manövers zurückgelegt. Das Stoppmanöver bzw. die eigentliche Verzögerung des Schiffes beginnt erst nach einem erheblichen zeitlichen Intervall und setzt erst dann wirksam ein, wenn der Propeller eine ausreichende Rückwärtsdrehzahl erreicht hat.

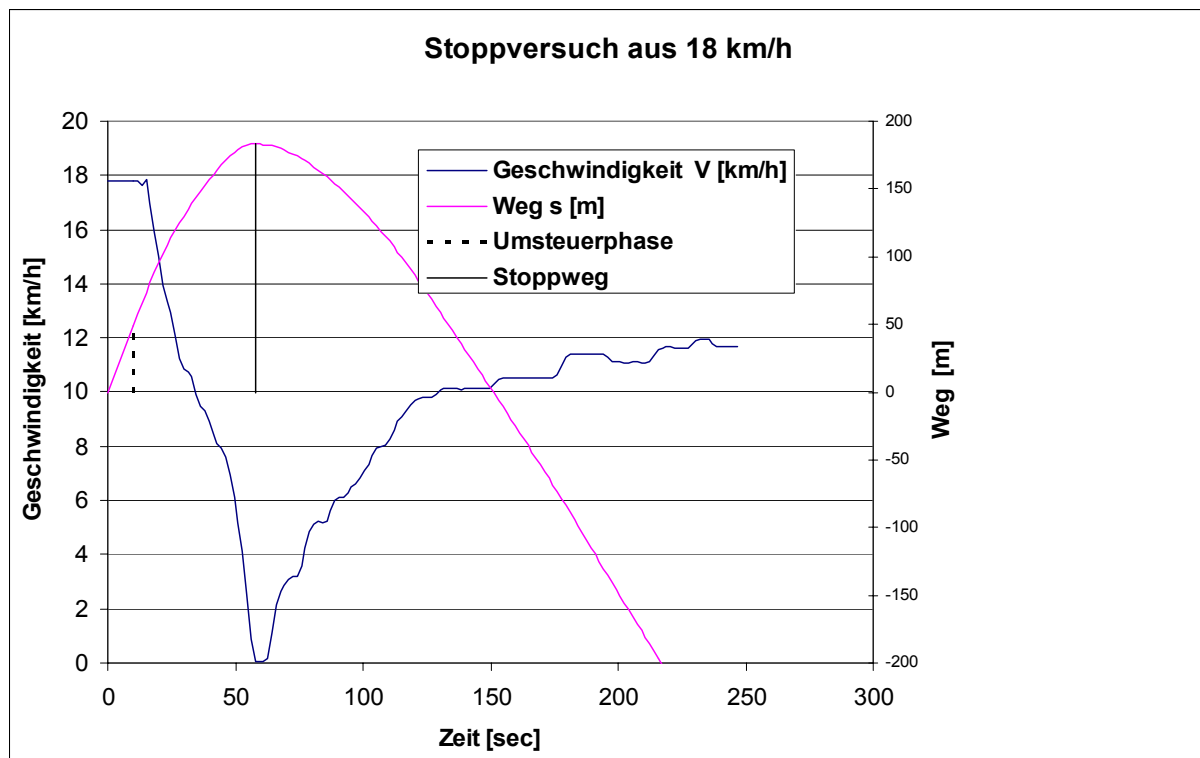


Abbildung 6: Typischer Stoppversuch

Aus diesem Grund wurden in einer Versuchsreihe die Möglichkeiten untersucht, mit gezielten Maßnahmen bereits zum Beginn des Manövers den Schiffswiderstand deutlich zu vergrößern, um schneller eine signifikante Verzögerung des Schiffes zu erreichen. Nach der Diskussion verschiedener Optionen wurde festgelegt, zunächst die Wirkung von drei Maßnahmen zu überprüfen:

- Die Ruderblätter werden quer auf einen Ruderwinkel von 90° gelegt.
- Der Propeller wird unabhängig vom Antriebsmotor zum Stillstand gebracht und blockiert.
- Eine Bremsklappe am Spiegel des Schiffes erzeugt zusätzlichen Widerstand.



Foto 1: Elemente zur Beeinflussung des Stoppversuches: Ruderblatt, Propeller, Bremsklappe

Die Wirksamkeit der Maßnahmen sollte einzeln und in ihren Kombinationen durch eine Reihe von Versuchen ermittelt werden. Dazu wurden zwei Versuchsarten angewendet, die es ermöglichten, Widerstandswerte in der beschleunigten bzw. verzögerten Fahrt zu ermitteln. Mit frei gefahrenen Stoppversuchen sollte das Manöver anschließend praxisgerecht demonstriert werden.

Es war hier von Interesse, nicht nur die Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen, sondern auch der möglichen Kombinationen zu ermitteln. Es ergeben sich 8 verschiedene Anordnungen, wobei mit der Anordnung „A“ die Referenzkurve gemessen werden konnte.

Anordnung	Ruder		Propeller		Bremsklappe	
	neutral	Quer	ohne	steht	ohne	mit
A	x		x		x	
B		x	x		x	
C	x			x	x	
D		x		x	x	
E	x			x		x
F		x		x		x
G	x		x			x
H		x	x			x

Tabelle 5: Untersuchte Varianten im Stoppversuch



Foto 2: Anordnung „A“



Foto 6: Anordnung „E“



Foto 3: Anordnung „B“



Foto 7: Anordnung „F“



Foto 4: Anordnung „C“



Foto 8: Anordnung „G“



Foto 5: Anordnung „D“



Foto 9: Anordnung „H“

3.1 Instationäre Widerstandsversuche

Bei diesem Versuch wird das Modell über die ganze nutzbare Länge des Tanks mit einer möglichst niedrigen konstanten Beschleunigung von $V = 0 \text{ km/h}$ bis $V = 30,5 \text{ km/h}$ geschleppt. Die instationär gemessenen Widerstandswerte ermöglichen es, den Zusatzwiderstand mit den jeweiligen Anordnungen als Funktion der Geschwindigkeit anzugeben und Beiwerte für die mathematische Simulation des Manövers zu erhalten.

3.2 Auslaufversuche

Dieser Versuch ist gewissermaßen die Umkehrung des instationären Widerstandsversuches. Das Modell wird nach Erreichen einer bestimmten Geschwindigkeit freigegeben und bremst durch den eigenen Widerstand bis zum Stillstand ab. Gemessen werden Weg und Geschwindigkeit des Modells als Funktion der Zeit.

3.3 Bewertung der Ergebnisse

Bei der Darstellung der Ergebnisse in Abbildung 7 überraschte zunächst der große zusätzliche Widerstand bei den Anordnungen B und C. Das quer gelegte Ruder bzw. der stehende Propeller vergrößert den Schiffwiderstand um annähernd 90 % bzw. 75 %, während die Bremsklappe nur einen Zusatzwiderstand von ca. 30 % erzeugt. Die Kombination aller Maßnahmen ist insbesondere im hohen Geschwindigkeitsbereich sehr wirksam. Die Größe der so erzielten zusätzlichen Bremskräfte liegen im Bereich der in Tabelle 1 genannten Werte.

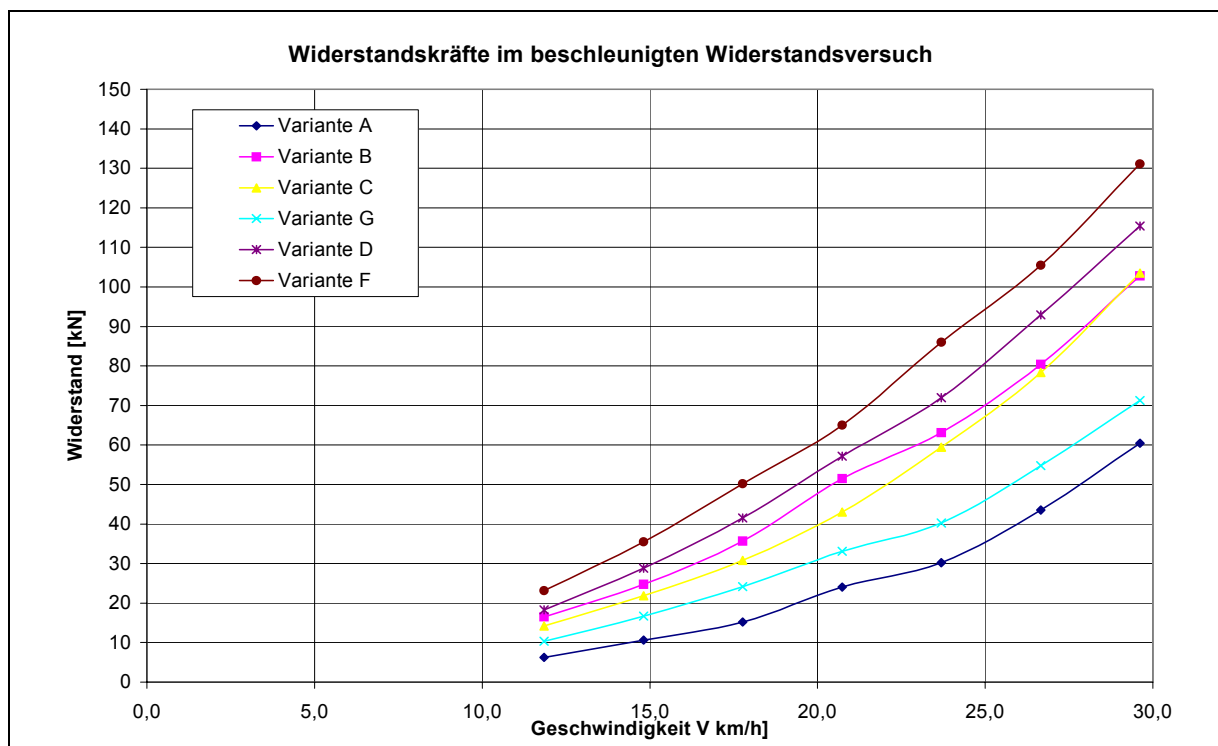


Abbildung 7: Widerstandskräfte am Modell im beschleunigten Widerstandsversuch

Mit diesen Versuchen wurde belegt, dass durch einfache Maßnahmen große Bremskräfte erzeugt werden können, die auch bereits unmittelbar nach Beginn des Manövers einsetzen können.

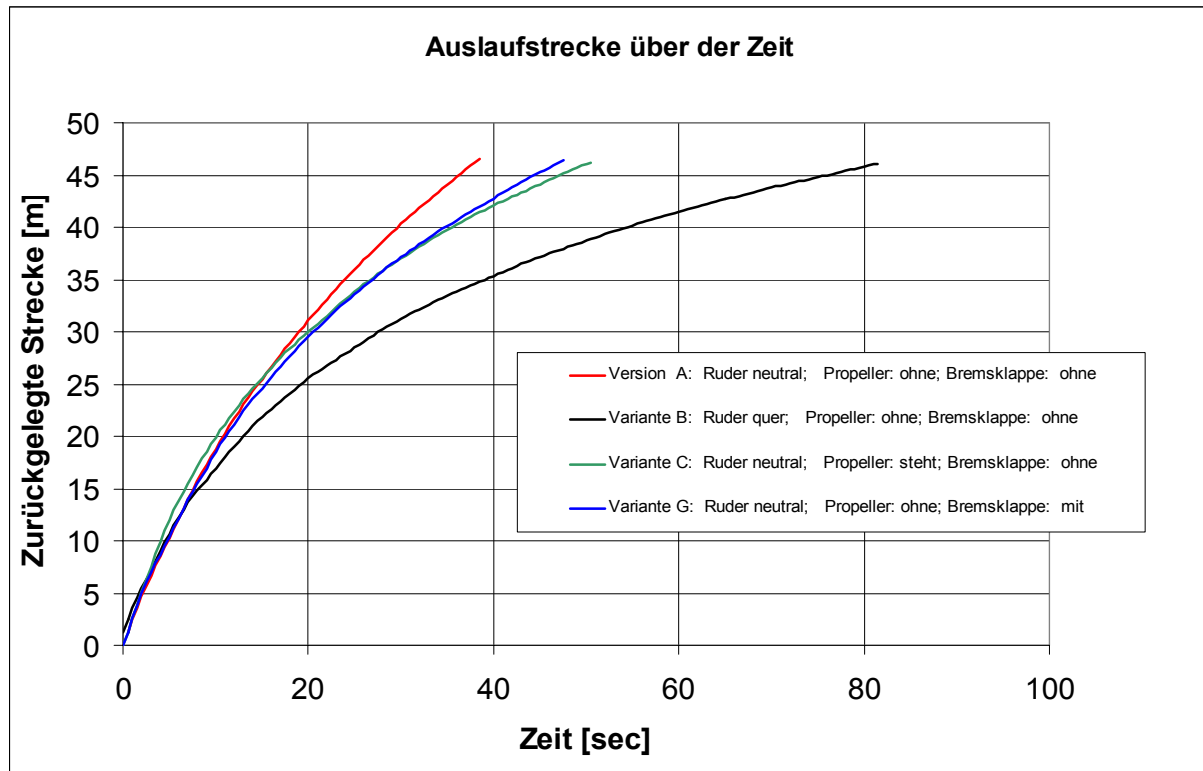


Abbildung 8: Auslaufversuche mit verschiedenen Varianten

Bei der Darstellung der Auslaufversuche (Abbildung 8) zeigt sich der Unterschied im instationären Widerstand allerdings nicht so deutlich. Die Varianten A, C und D haben in der ersten Phase, für die ersten 15 m der Auslaufstrecke, ein fast identisches Verhalten.

3.4 Stoppversuch mit programmiertem Ablauf

Nachdem die Wirksamkeit der Maßnahmen durch die instationären Widerstandsversuche und die Auslaufversuche bewertet werden konnte, wurden für ausgewählte Konfigurationen Stoppversuche durchgeführt. Dabei wird das Stoppmanöver programmgesteuert durchgeführt und die einzelnen Elemente werden realitätsnah in einer bestimmten zeitlichen Abfolge eingesetzt.

Manövrierprogramme mit einstellbaren, zeitgesteuerten Schaltpunkten für

- Ruder quer legen
- Propeller Stopp
- Propeller drehen rückwärts

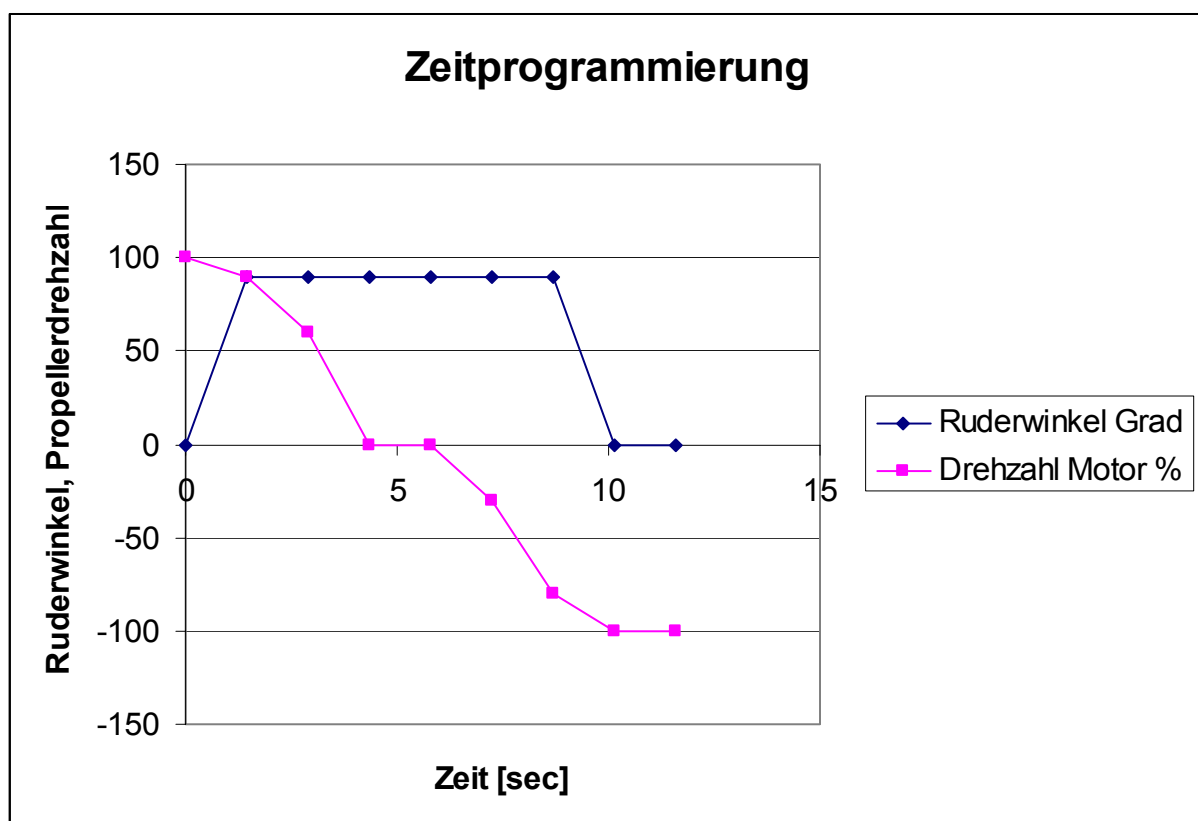


Abbildung 9: Programmsteuerung für den Stoppversuch

Um einen kürzeren Stoppweg zu erzielen, wurden dabei verschiedene Maßnahmen erprobt:

- Unterschiedliche Umsteuerzeiten für die Propellerdrehzahl;
- Einsatz der Ruderanlage in der Umsteuerphase;
- Verwendung einer zusätzlichen Bremsklappe am Spiegel;
- Achterlicher Trimm des Schiffes.

Um die Wirkung der einzelnen Maßnahmen detailliert untersuchen zu können, wurde eine zusätzliche Reihe von Versuchen durchgeführt, bei der Weg und Geschwindig-

keit des Modells während des Stoppmanövers mit einer hohen zeitlichen Auflösung gemessen wurde. Als Ergebnis der Versuche stehen Messreihen, in denen die Verzögerung des Modells und somit die wirksamen Bremskräfte als Funktion der Zeit dargestellt werden. Die Stoppversuche wurden in diesem Fall für die erste Phase des Stoppmanövers von der Ausgangsgeschwindigkeit entsprechend $V = 30 \text{ km/h}$ bis zum Stillstand des Schiffes aufgezeichnet.

Die Wirksamkeit der aktiven Elemente im Manöver kann beurteilt werden, wenn als Referenzversuch ein Auslaufversuch des Modells ohne Propeller durchgeführt wird. Als unerwartetes Ergebnis wurde festgestellt, dass das Modell auch in diesem Fall nicht gleichmäßig verzögert, sondern nach einer ersten Phase des Auslaufens wieder an Geschwindigkeit gewinnt und erst anschließend weiter verzögert. Die Beschleunigungen und Verzögerungen wiederholen sich in abklingender Stärke, bis der Stillstand erreicht wird.

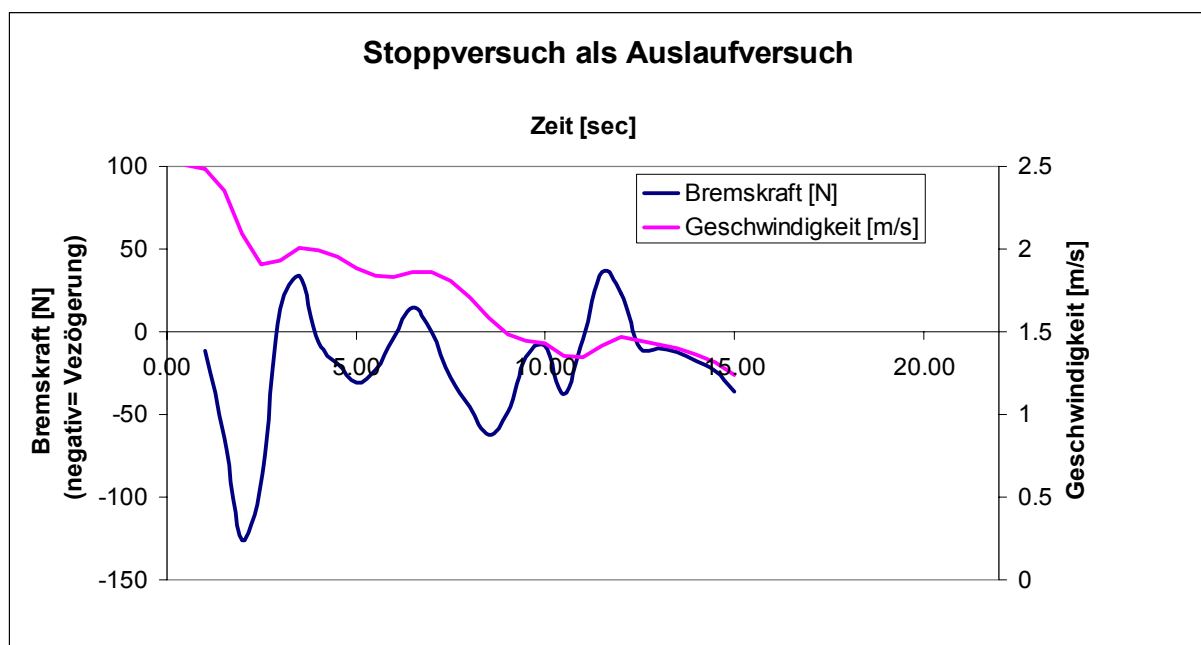


Abbildung 10: Stoppversuch als Auslaufversuch ohne Propeller

Dieses nicht-stationäre Verhalten des Modells (siehe Abbildung 10) kann nur aus der Interaktion zwischen dem verzögerten Schiff und dem bei voller Geschwindigkeit erzeugten primären Wellensystem erklärt werden. Das langsamer werdende Schiff wird von dem vorher erzeugten Wellensystem überholt. Bei den hier ausgewerteten Versuchen wird angenommen, dass nach ca. 3 Sekunden das Heck des Modells von einem überholenden Wellenberg angehoben wird, so dass durch das Gefälle eine nach vorne gerichtete Kraftkomponente entsteht, die zu einer kurzzeitigen Beschleunigung des Schiffes führt. Dieser Vorgang wiederholt sich in abklingender Form.

Die nachfolgend dargestellten Untersuchungen über die Wirkung der einzelnen Maßnahmen zur Reduzierung des Stoppweges müssen deshalb im Zusammenhang mit den überlagernden Effekten des nachlaufenden Wellenbildes gesehen werden.

3.5 Unterschiedliche Umsteuerzeiten für die Propellerdrehzahl

In den ersten Versuchen wurde die komplette Umsteuerzeit auf 15 Sekunden eingestellt. Diese Umsteuerzeit von 15 Sekunden entspricht der Erfahrung nach einem realistischen Wert, der von modernen Schiffen erreicht werden kann, wenn ein zügiges Manöver angestrebt wird.

Es konnte im Stoppversuch beobachtet werden, dass es zu starken Verwirbelungen und auch zu Lufteinbruch kommt, wenn die Propeller nach dem Umsteuern wieder mit voller Drehzahl in Rückwärtsrichtung rotieren. Es wurde versucht, mit längeren Umsteuerzeiten diesen Effekt zu verhindern und bei niedrigerer Propellerdrehzahl einen höheren Rückwärtsschub zu erzielen. Dazu wurde die Umsteuerzeit auf Werte von 15, 25, 30 und 50 Sekunden eingestellt.

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass bei den kurzen Umsteuerzeiten von 15 bzw. 25 Sekunden der Stoppweg um etwa 15 m kürzer ausfällt als bei einer Umsteuerzeit von 50 Sekunden, eine lange Umsteuerzeit wirkt sich also nachteilig aus.

3.6 Zusätzliche Bremswirkung durch den Einsatz der Ruderblätter

Aus den Widerstandsversuchen ließ sich die starke Erhöhung des Widerstandes und somit eine Reduzierung des Stoppweges durch die auf 90° Ruderwinkel gestellten Ruderblätter ableiten. In der Praxis des Stoppmanövers wird die volle Wirksamkeit dieser Maßnahme allerdings eingeschränkt sein:

- Die Rudermaschinen der Schiffe arbeiten mit Geschwindigkeiten von maximal 10° Ruderwinkel pro Sekunde, so dass z.B. ein Ruderwinkel von 65° erst 6,5 Sekunden nach Beginn des Manövers erreicht werden kann.
- Wenn die Ruder auf den Voll-Ausschlag gelegt sind, behindern sie den Zustrom der rückwärts drehenden Propeller und reduzieren möglicherweise den Rückwärtsschub.
- Die Ruderblätter können nur kurzzeitig auf den Voll-Ausschlag gelegt bleiben, da sie wieder in der neutralen Position sein müssen, bevor das Schiff zum Stillstand gekommen ist.

Die detaillierte Auswertung der Manöver zeigt, dass mit dem Einsatz der Ruder sich der Stoppweg um etwa 20 m reduzieren lässt, wenn die Ruder auf 65° Ruderwinkel gelegt werden. Eine Ruderlage von 90° hat keine verkürzende Wirkung auf den Stoppweg, da die stärkere Bremskraft in der Anfangsphase des Manövers durch die Behinderung des Rückwärtsschubes des Propellers wieder ausgeglichen wird.

3.7 Einfluss des achterlichen Trimms

Wenn der Spiegel des Schiffes tiefer eingetaucht ist, kann der Rückwärtsschub der Propeller während des Manövers vergrößert werden. Durch die größere Eintauchung des Propellers reduziert sich dann der Verlust der Bremskraft, der mit dem Lufteinbruch in den Propeller verbunden ist. In einigen Versuchen wurde deshalb der Trimm so eingestellt, dass der Spiegel am Achterschiff 100 mm tief eingetaucht war.

Der Einfluss des vergrößerten achterlichen Trimms bewirkt einen um 20 m verkürzten Stoppweg. Für den Fall, dass gleichzeitig die Ruderblätter mit einem Ruderwinkel von 65° eingesetzt werden, lassen sich weitere 10 m Stoppweg-Verkürzung erzielen.

3.8 Bewertung der Stoppversuche

Bei Schiffen, die Geschwindigkeiten von etwa 30 km/h erreichen können, sind Stoppwege von 240 m bis 260 m üblich. Mit den praxisnah gesteuerten Stoppmanövern wurden Ergebnisse erzielt, die sehr dicht an den Erfahrungswerten des Schiffsbetriebs liegen. Bei den mit hoher zeitlicher Auflösung erfassten Modellversuchen wurde jetzt erstmals nachgewiesen, dass das nachlaufende Wellensystem des Schiffes einen großen Einfluss auf die Verzögerung des Schiffes nimmt und auch die Maßnahmen negativ beeinflusst, mit denen der Stoppweg verkürzt werden soll. Die aus den instationären Widerstandsversuchen (Abschnitt 3.1) ermittelten zusätzlichen Bremskräfte von quer gestellten Ruderblättern, der Bremsklappe und auch dem stehenden Propeller stellen sich nur temporär in voller Wirksamkeit ein.

Durch einzelne Maßnahmen und auch durch Kombinationen von Maßnahmen gelang es, den Stoppweg des Schiffes um maximal 40 m zu verkürzen. Dies ist nicht ausreichend, um zuverlässig den Stoppweg auf den Wert von „2,5 x Schiffslänge“, in diesem Fall ca. 130 m, verkürzen zu können.

4. Untersuchungen mit numerischen Berechnungsmethoden

Aufbauend auf den Ergebnissen der Modellversuche wurde versucht, die wesentlichen Problembereiche des Stoppmanövers erstmalig mit numerischen Berechnungsmethoden zu behandeln. Dabei handelt es sich um

1. die Simulation des verzögernden Schiffes im nachlaufenden Wellensystem und
2. die Simulation der Strömung am rückwärts drehenden Propeller.

4.1 Simulation des Stoppens mit BESHiWa

Um die im Versuch beobachteten Schwingungen im zeitlichen Kraftverlauf beim Stoppen besser verstehen zu können, wurde die gesamte Versuchsfahrt einschließlich der Beschleunigungs- und Bremsphasen mit dem instationären Flachwasserverfahren BESHiWa (Boussinesq Equations for Ship Waves) simuliert.

BESHiWa wurde entwickelt, um die Wellenausbreitung von schiffserzeugten Wellen in Wasser begrenzter Tiefe berechnen zu können. Es basiert auf modifizierten Flachwassergleichungen vom Boussinesq-Typ. Das Schiff wird dabei mittels der Schlankkörpertheorie modelliert. Damit können Trimm und Absenkung berechnet werden. Die Berechnung des Wellenwiderstands liefert dagegen nur für schlanke Schiffe ein zuverlässiges Ergebnis.

Das Verfahren wurde so erweitert, dass das Beschleunigen und Abbremsen des Schiffs simuliert werden kann. Dabei wird die Trägheit des Schiffs allerdings vernachlässigt. Die Simulation erfolgt für die Großausführung. In Abbildung 11 ist der zeitliche Verlauf der Schiffsgeschwindigkeit und des Trimms dargestellt. Das Schiff wird innerhalb der ersten 9 Sekunden mit konstanter Beschleunigung auf seine Endgeschwindigkeit von $7,778 \text{ m/s} = 28 \text{ km/h}$ beschleunigt. Nach 96 Sekunden wird das Schiff abgebremst. Bis zu diesem Zeitpunkt hat sich fast eine stationäre Schwimm-lage eingestellt. Nach dem Abbremsen wirken allerdings die nachlaufenden Wellen auf das Schiff und führen zu einer sehr starken Stampfbewegung, die entsprechende Kräfte in Schiffslängsrichtung zur Folge haben. In Abbildung 12 ist ergänzend die zeitliche Entwicklung des Wellenbilds nach dem Stoppen dargestellt.

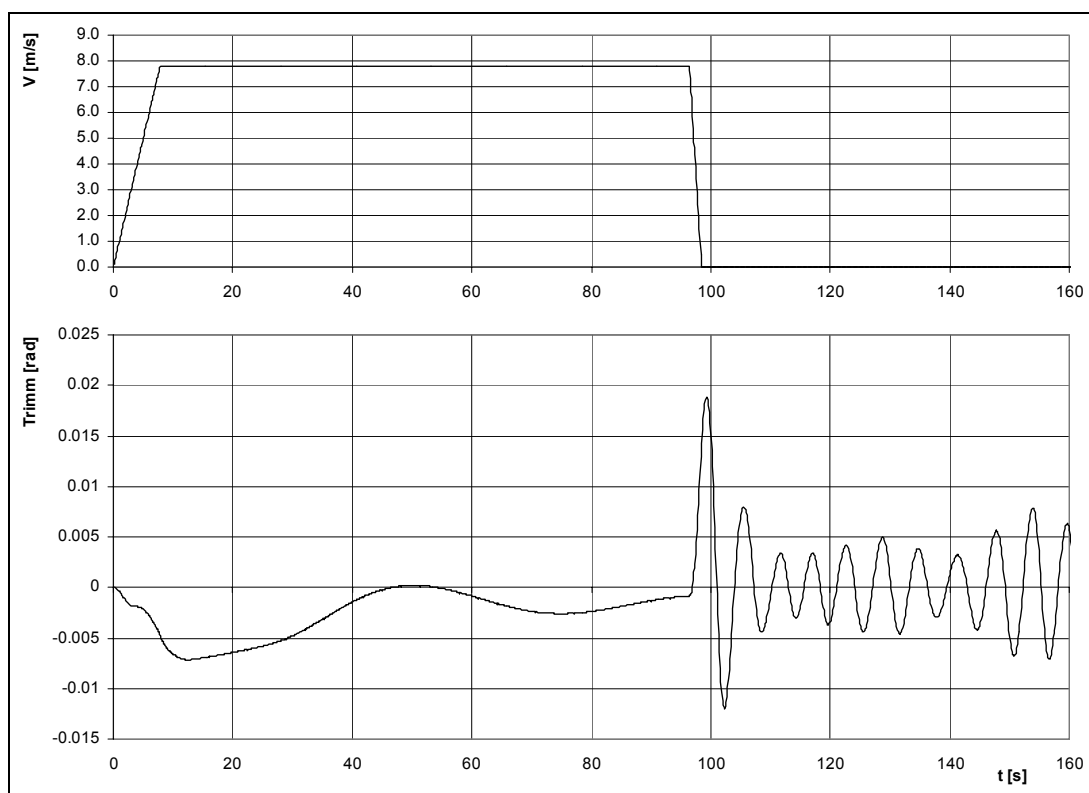


Abbildung 11: Zeitschriebe der Schiffsgeschwindigkeit und des Trimms für eine Versuchsfahrt

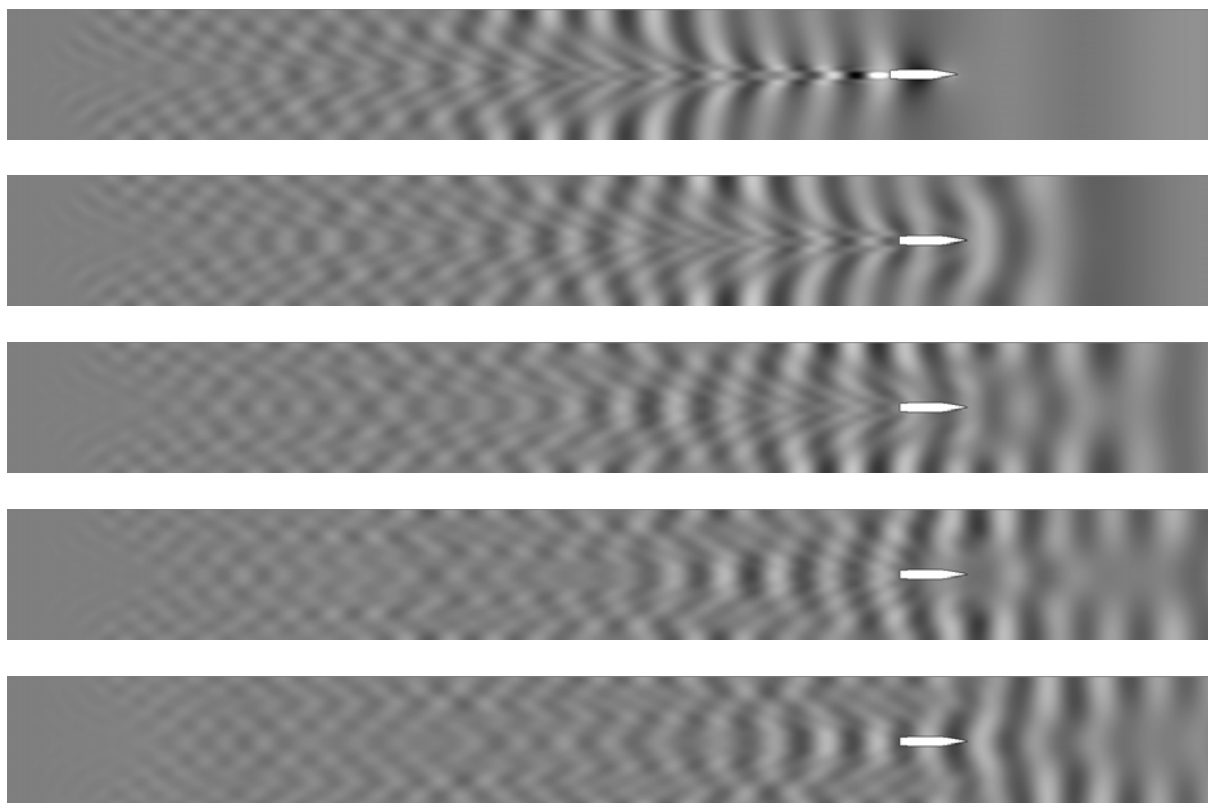


Abbildung 12: Zeitliche Entwicklung des Wellenbilds nach dem Stoppen

4.2 Simulation der Propellerströmung im Stoppversuch

Der rückwärts drehende Propeller bei Vorausfahrt (Stoppmanöver) ist zusätzlich eine besondere Situation für die numerische Simulation, weshalb im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zwei unterschiedliche Verfahren angewendet wurden. Hinsichtlich einer Untersuchung der maßgeblichen Einflussgrößen des Propellers auf die Hinterschiffsumströmung und die freie Wasseroberfläche wurde auf die doppelte Modellierung eines Doppelschrauben-Hinterschiffs verzichtet und die Berechnungen für ein detailliert vermessenes Einschraubenschiff durchgeführt.

Zunächst wurde die Wirkung des vorausdrehenden Propellers mit Hilfe eines Flächenkraftmodells simuliert und mit entsprechenden physikalischen Modellversuchen validiert. Anschließend wurde für dieses Modell das Stoppmanöver simuliert. Weiterhin wurde eine Vergleichsrechnung der gleichen Strömungssituation mit Hilfe des im AIF-Forschungsvorhaben AIF-FV 69ZN, „Simulationssoftware für hydrodynamische Probleme - Schiff und Antrieb in begrenzten Gewässern“ entwickelten numerischen Verfahrens für rotierende Antriebssysteme durchgeführt. Für eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens sei an dieser Stelle auf die Dokumentation des Forschungsvorhabens verwiesen. Die numerische Simulation der viskosen Strömung um und durch einen drehenden Propeller bleibt aufgrund der Komplexität und trotz Weiterentwicklungen der numerischen Verfahren und zunehmender Rechenleistung eine große Herausforderung. Prinzipiell ist es denkbar, die exakte Propellergeometrie räumlich zu diskretisieren und die Propellerumströmung gemeinsam mit dem Schiffsrumpf zu lösen. Allerdings ist die Generierung geeigneter Propellergitter mit einem enormen Arbeitsaufwand verbunden. Zusätzlich muss dem instationären und turbulenten Charakter der Propellerumströmung, womöglich in Ablösegebieten, Rechnung getragen werden.

Insgesamt betrachtet, scheint momentan der erforderliche Aufwand zur detaillierten Simulation von Propeller-Strömungen Einzelfällen vorbehalten und für Entwurfszwecke schwierig einsetzbar zu sein.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden erste Ergebnisse bei der numerischen Simulation von Stoppmanövern erzielt. Die Komplexität der Schiffsumströmung im Falle des Umkehrschubs bei noch anliegender Vorausfahrt (Beginn des Stoppmanövers) deckt hierbei den Entwicklungsbedarf bei den derzeit verfügbaren Simulationsverfahren auf.

4.2.1 Flächenkraftmodell

Ausgehend von der oben beschriebenen Problematik einer gemeinsamen Simulation der Strömung um Rumpf und Propeller bei vollständiger Komplexität, lässt sich zur Berechnung der Strömung im Hinterschiffsbereich der Propellereinfluss mit Hilfe einer zusätzlich aufgebrachten Volumenkraft an der Position des Propellers approximieren. Dieser Ansatz wurde, soweit bekannt, von Schetz und Favin [3], [4] erstmalig veröffentlicht und von einer Reihe weiterer Autoren z. B. in [5] oder [1] erfolgreich eingesetzt. Durch die Reduktion der schwer zu erfassenden Propellerumströmung auf die vorzugebenden Propellerkräfte wird der Rechenaufwand erheblich verringert.

4.2.2 Verteilung der Propellerkräfte

In vielen Anwendungsfällen kann für die Impulsquellen mit hinreichender Genauigkeit eine analytisch bestimmbare Verteilung über den Propellerradius angenommen werden. Die Kraftanteile sind dann im Vorfeld nur einmal bestimmt worden und es folgt kein iteratives Vorgehen. Die integrale Wirkung der in dieser Arbeit auf die Propellerkreisfläche bezogenen Kräfte in axialer bzw. tangentialer Richtung f_{bx} bzw. $f_{b\varphi}$ ergeben den Propellerschub T bzw. das Drehmoment Q (formuliert in den Polarkoordinaten r und φ):

$$T = 2\pi\rho L^2 U^2 \int_{R_h}^{R_p} f_{bx} r dr \quad (1)$$

$$Q = 2\pi\rho L^3 U^2 \int_{R_h}^{R_p} f_{b\varphi} r^2 dr \quad (2)$$

Grundlage der analytisch, empirischen Verteilungsfunktion bildet die Annahme, dass die vom Propellerradius radial veränderlichen Verteilungen der Größen f_{bx} und $f_{b\varphi}$ von der radialen Zirkulationsverteilung des Propellers abhängen ([2]):

$$f_{bx} = A_x \tilde{r} \sqrt{1 - \tilde{r}} \quad (3)$$

$$f_{b\varphi} = A_\varphi \frac{\tilde{r} \sqrt{1 - \tilde{r}}}{(1 - Y_h) \tilde{r} + Y_h} \quad (4)$$

mit

$$A_x = C_T \cdot \frac{105}{16(4 + 3Y_h)(1 - Y_h)} \quad (5)$$

$$A_\varphi = \frac{K_Q}{J^2} \cdot \frac{105}{\pi(4 + 3Y_h)(1 - Y_h)} \quad (6)$$

und

$$\tilde{r} = \frac{(Y - Y_h)}{(1 - Y_h)}, \quad Y = \frac{r}{R_p}, \quad Y_h = \frac{R_h}{R_p}$$

$$C_T = \frac{2T}{\rho U^2 \pi R_p^2}, \quad K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D_p^5}, \quad J = \frac{U}{n D_p}$$

Hierbei ist n die Propellerdrehrate und D_p der Propellerdurchmesser. Für obige Darstellung wurden die im schiffbaulichen Kontext gebräuchlichen Verhältnisse C_T , K_Q und J gewählt. Sind diese Werte für den Propeller bekannt, kann mit Hilfe der Beziehungen (6.5) und (6.6) die Verteilung der Größen f_{bx} bzw. $f_{b\varphi}$ bestimmt werden.

4.2.3 Simulation mit den Werkzeugen für rotierende Antriebssysteme

Mit wenigen Ausnahmen erfolgen Strömungssimulationen auf Rechengittern und diese Gitter stellen eine Parzellierung des Rechengebiets dar. In der überwiegenden Mehrzahl aller Anwendungsfälle ist dieses Gebiet statisch, also nicht veränderlich. Für den Fall relativ bewegter Systeme (hier Schiff - Propeller) trifft dies nicht zu und zur Lösung dieses Problems wurde eine Overset-Netzanordnung verwendet. In der vorliegenden Version des Overset-Algorithmus erfolgt die Kopplung verschiedener Netzebenen durch einen Interpolationsansatz. Um einen wirtschaftlichen und sicheren Datenaustausch zwischen einzelnen Teilgittern zu gewährleisten, ist hierfür ein strenges Regelwerk der gegenseitigen Abhängigkeiten erforderlich.

Im Fall der hier simulierten Zweigitter-Systeme (inert und rotierend) wird dem Propeller ein Gitter zugewiesen, zu dem die Strömungsvariablen des darunter liegenden Gitters per Interpolation herangezogen werden. Um die wechselseitige Datenübertragung sicher zu stellen ist noch ein entsprechender Abstand, also eine Schutzzone erforderlich, in der die Lösungen auf beiden Gittern existieren. Ist das Hintergrundgitter, wie hier üblich, durchgängig, so bedeutet dies, dass in einem randnahen Gebiet des darüberliegenden Gitters höherer Priorität eine Rückinterpolation vermieden werden muss. Abbildung 13 zeigt zwei Teilgitter A und B in den Hierarchieebenen K und K-1 welche als Prioritätsebenen aufzufassen sind. Zur Vereinfachung hier für ein zweidimensionales Problem skizziert.

Es entsteht somit eine wechselseitige Abhängigkeit. Von einem Teilnetz A höherer Priorität aus gesehen lautet die Vorschrift somit:

- Datenübertragung von darunter liegendem(n) Teilnetz(en) B auf die äußeren Ränder von A. Hierzu sind Interpolationszugriffe in B erforderlich.
- Datenübertragung aus dem Kernbereich von A auf B. Hierfür sind Interpolationszugriffe in A erforderlich.

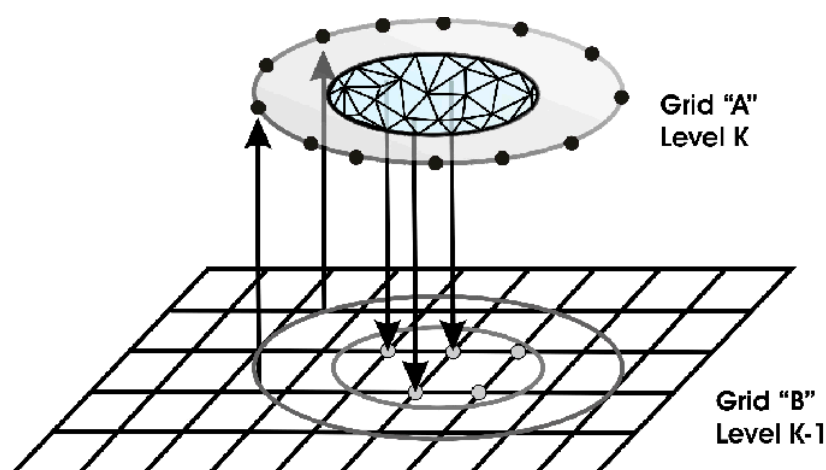


Abbildung 13

Schematische 2-D Darstellung der Interpolationskopplung in zwei Hierarchieebenen K-1 und K. Die Pfeile geben die Richtung der Datenübertragung an. Eine Schutzzone in der keine Datenübertragung stattfindet, hier grau dargestellt, ist erforderlich.

4.3 Simulationen für die Schiffsgeometrie

Für die folgenden Berechnungen wurde das Berechnungsgitter im Bereich der Propellerposition lokal etwas verfeinert. Prinzipiell konnte gezeigt werden, dass die konvergierte Berechnungslösung des Widerstandsversuchs als Startlösung für die Simulation mit dem Flächenkraftmodell des Propellers verwendbar ist. Damit ist der zusätzliche Rechenaufwand relativ gering. Die Eingangsdaten für das Propellermodell sind in der Tabelle 6 zusammengefasst.

Symbol	Dimension	Wert
Fr	-	0,095
U	ms^{-1}	0,699
T	N	9,228
Q	Nm	0,1765
n	s^{-1}	10,58
R_P	mm	62,5
R_H	mm	12,5

Tabelle 6: Eingangsdaten für das Propellerkraftmodell

4.3.1 Validierungsrechnung

Die Abbildung 14 zeigt als Validierungsergebnis die berechnete Druckverteilung am Hinterschiff verglichen mit den Messungen aus dem Modellversuch für das AIF-Forschungsvorhaben AIF-FV 69ZN. Der Vergleich zeigt eine gute Übereinstimmung, zumal die Verteilung der Propellerkräfte nicht durch die Veränderung des Nachstroms iterativ neu berechnet wurde. Die analytische Verteilung der Kraftanteile nach Kap. 4.1 erweist sich daher als praktikabel. Weiterhin konnte im Modellversuch aus praktischen Erwägungen nur eine beschränkte Anzahl von Druckbohrungen vorgesehen werden. Speziell im Heckwulstbereich sind die Druckwerte über relativ große Distanzen interpoliert worden.

4.3.2 Stoppmanöver mit dem Flächenkraftmodell

Im Folgenden wurde, von der stationären Voraufahrt ausgehend, die Wirkung des Propellers umgekehrt. Die sich einstellende Strömungssituation ist, wie auch im Modellversuch beobachtet, ein sehr instationärer Vorgang. Die Abbildung 15 zeigt den Anlaufvorgang des rückwärts drehenden Propellers. Gezeigt ist die Druckverteilung am Hinterschiff sowie die Streichlinien verglichen mit der Validierungsrechnung bei der Voraufahrt im Propulsionspunkt.

Bereits kurz nach dem Ausbilden der Schubumkehrströmung stellt sich eine starke Interaktion mit der freien Wasseroberfläche am Hinterschiff ein. In den Abbildung 16 wird deutlich, wie das Wellental an der hinteren Schulter aufgefüllt wird und direkt hinter dem Rumpfspiegel die Wasseroberfläche in Richtung Propellerebene gesaugt

wird. Beim Eintreten der ersten Lufteinschlüsse muss die Simulation der Einphasen-Strömung abgebrochen werden, da die Ergebnisse unphysikalisch werden. In der Abbildung 17 ist die gleiche Situation aus der Fischperspektive dargestellt mit der zusätzlichen Information der Druckverteilung am Hinterschiff.

4.3.3 Stoppmanöver mittels rotierender Antriebsorgane

Die Simulationen mit dem Flächenkraftmodell zeigen schon nach relativ kurzer Wirkdauer des Propeller-Umkehrschubs eine starke Absenkung der freien Wasseroberfläche hinter dem Schiffsspiegel, was kurz darauf zu einem Luftansaugen führt. Daher wurden in einer Vergleichsrechnung die Simulationsmethoden für rotierende Antriebsorgane herangezogen. Hierfür wurde dem Propeller eine reale Geometrie zugewiesen. Die Abbildung 18 zeigt das Berechnungsergebnis im Vergleich mit der Lösung des Flächenkraftmodells. Die Druckverteilung am Schiffsrumpf ist inklusive der Propellerflügel selbst detaillierter aufgelöst und die Saugseite des Propellers ist deutlich erkennbar. Die Interaktion mit der freien Oberfläche ist identisch mit der Berechnung aus dem Oberflächenmodell und liefert damit eine Aussage über die Richtigkeit der Simulationsergebnisse. Die Gefahr des Zusammenbrechens der freien Oberfläche durch Luftansaugung bleibt allerdings bestehen und verweist auf den Entwicklungsbedarf an Mehrphasenströmungen im schiffbaulichen Kontext.

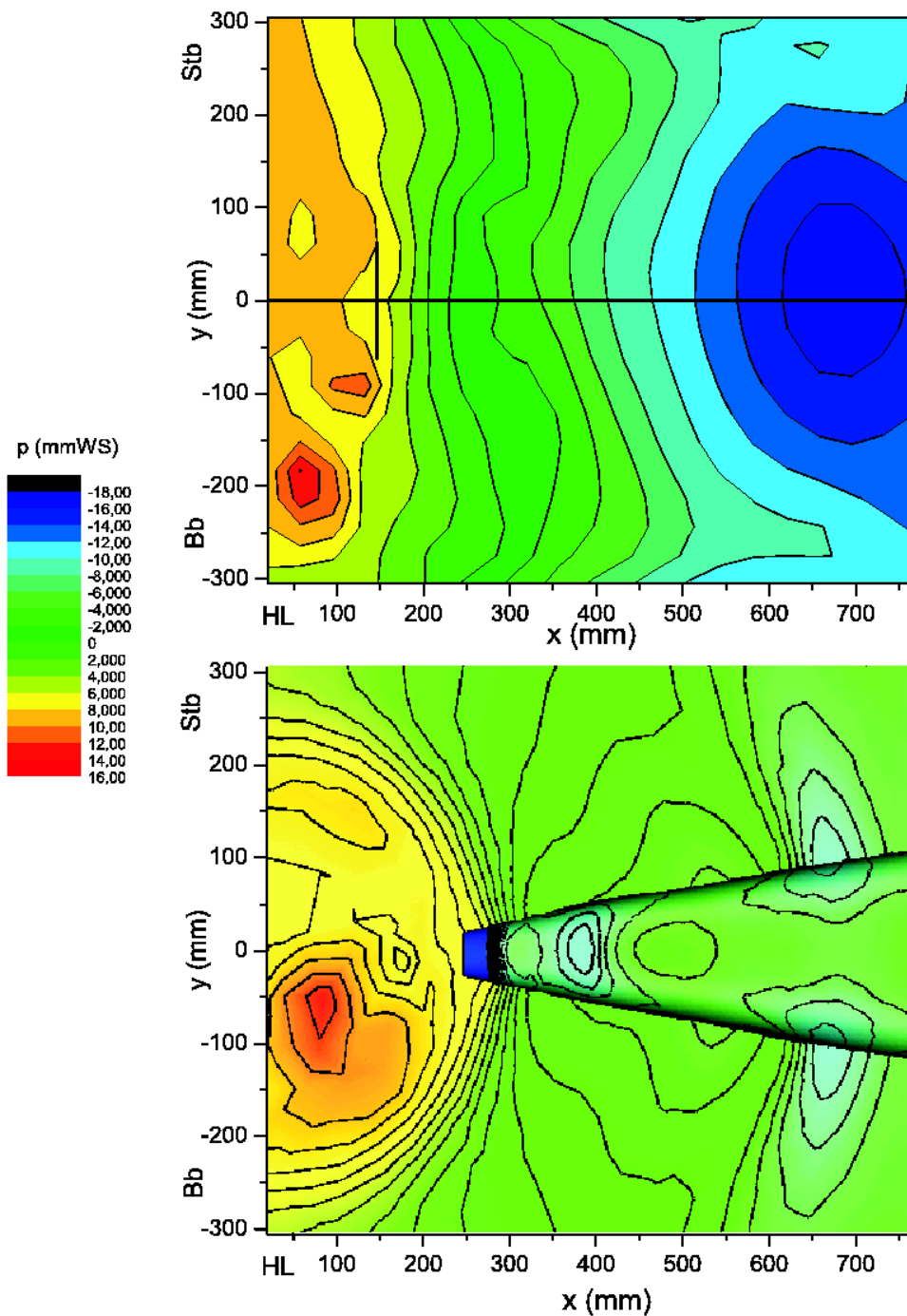


Abbildung 14

Berechnete Druckverteilung am Schiffsheck im Propulsionsversuch, Konturdarstellung
 Oben: Messung im Modellversuch für das AIF-Forschungsvorhaben AIF-FV 69ZN
 Unten: Simulation mit dem Flächenkraftmodell, stationäre Lösung, Strömung von rechts

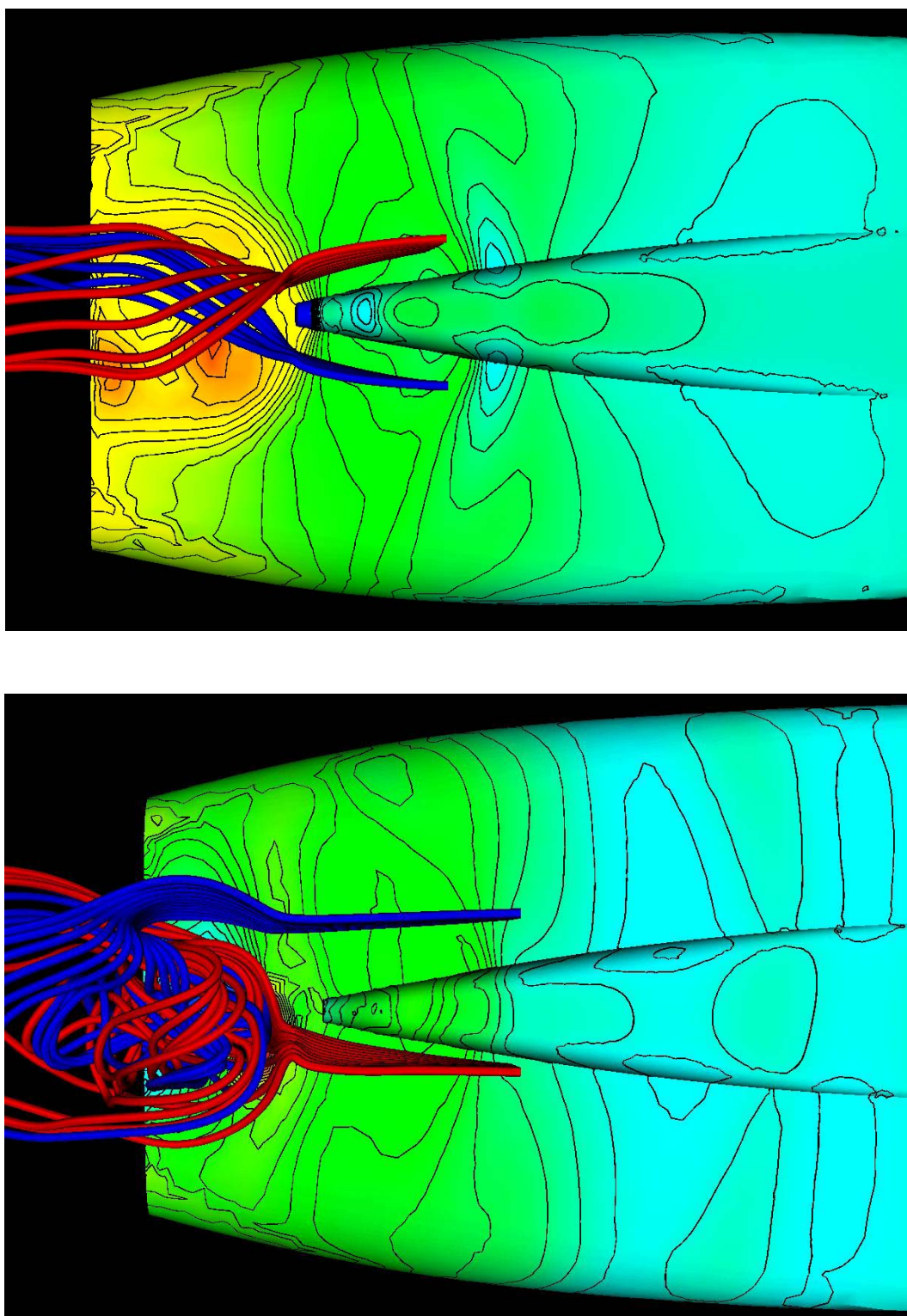


Abbildung 15

Flächenkraftmodell: Berechnete Druckverteilung am Schiffsheck im Propulsionsversuch, Konturdarstellung.

Oben: stationäre Vorausfahrt der Validierungsrechnung

Unten: Simulation der Schubumkehr

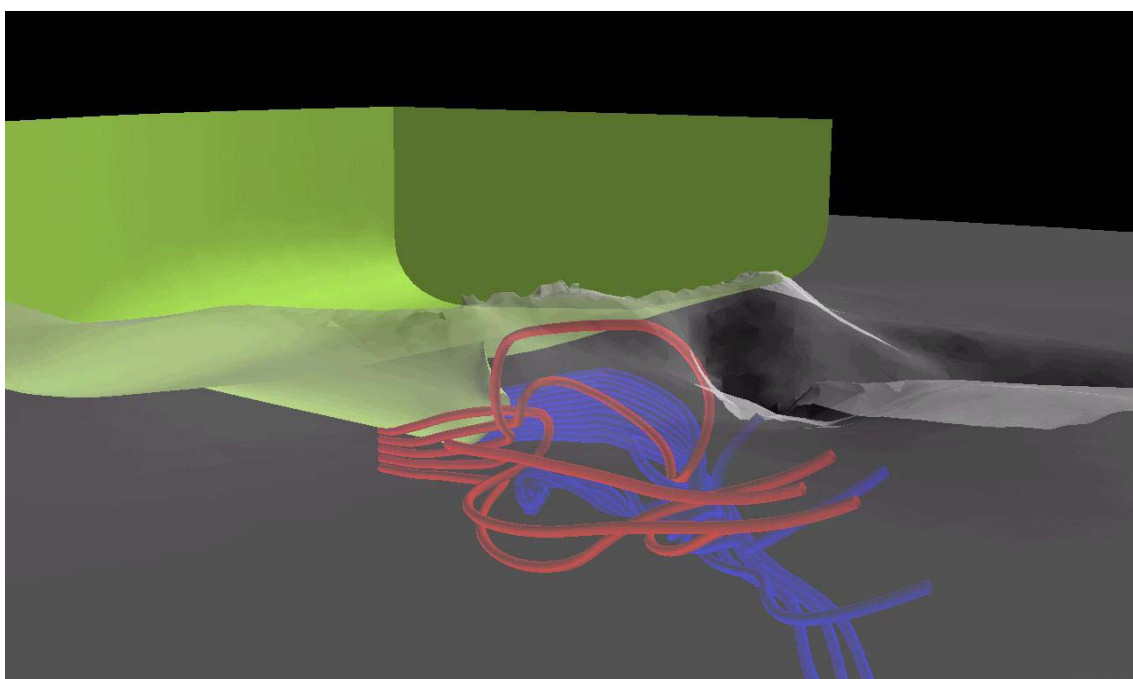
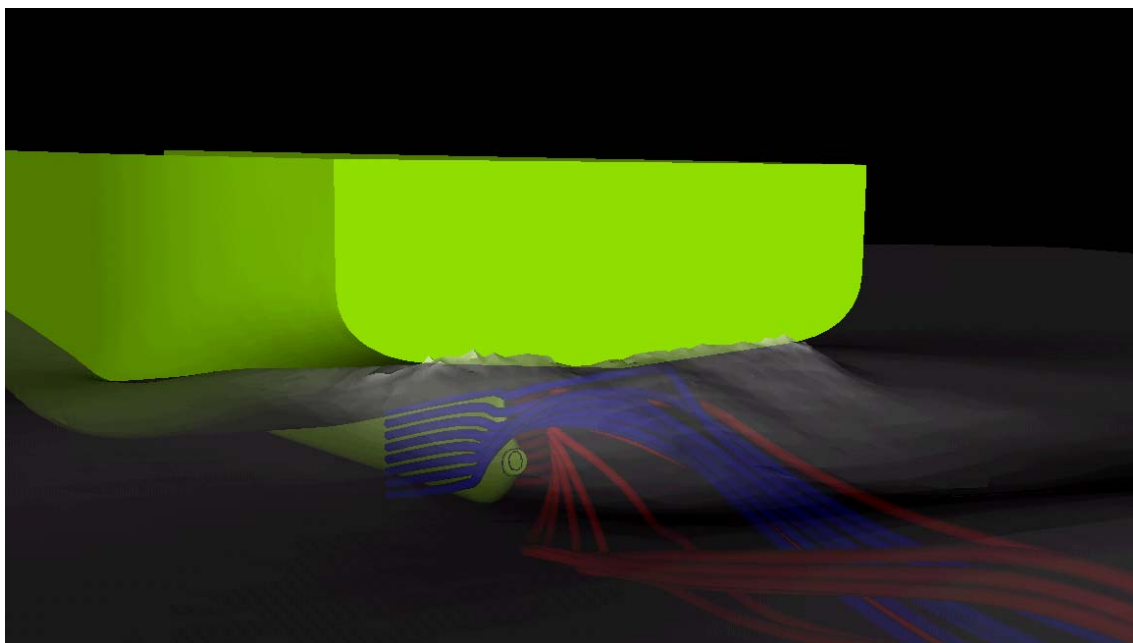


Abbildung 16

Flächenkraftmodell: Wirkung des Propellers auf die freie Wasseroberfläche.

Oben: stationäre Vorausfahrt

Unten: Stoppmanöver

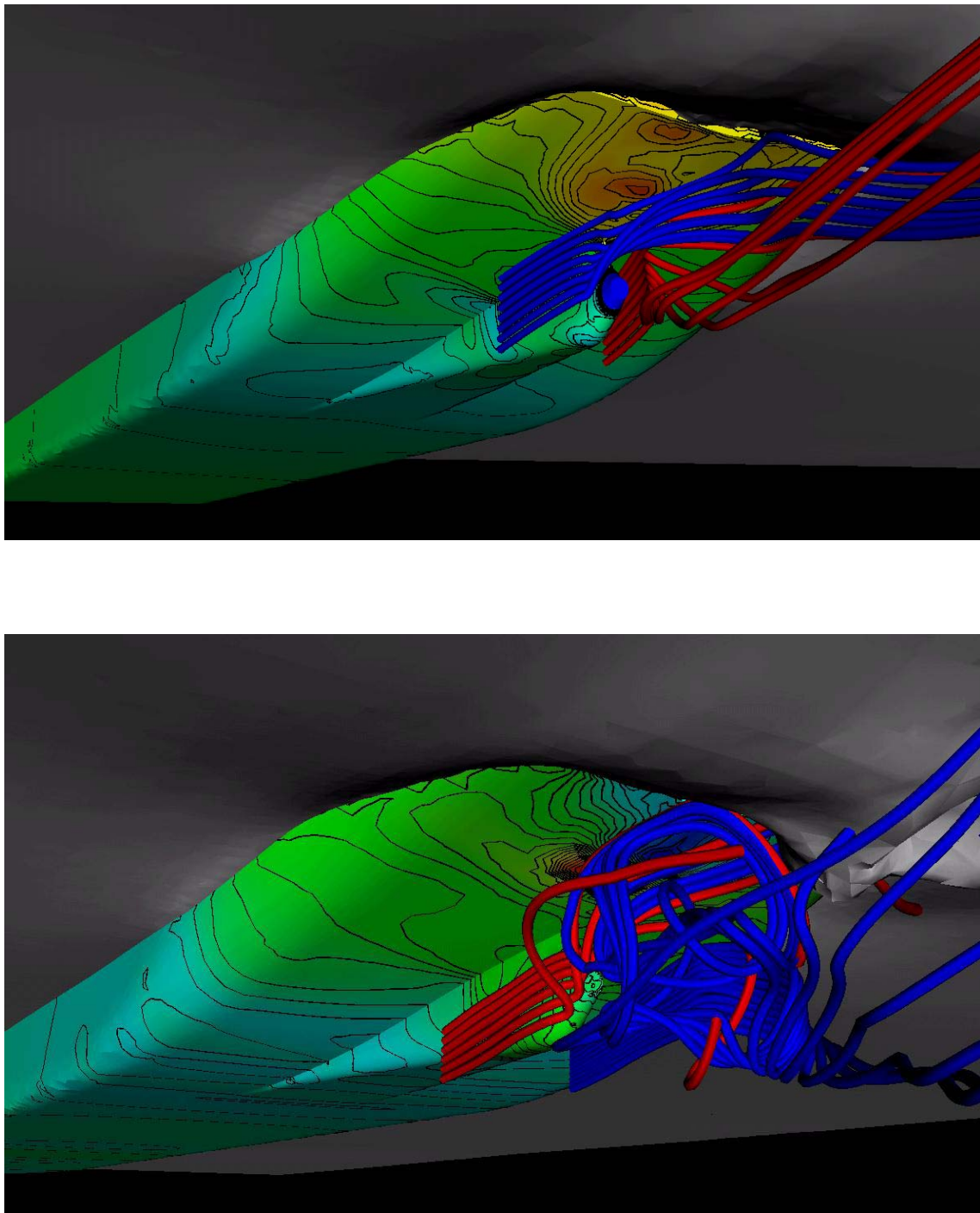


Abbildung 17

Flächenkraftmodell: Berechnete Druckverteilung am Schiffsheck im Propulsionsversuch,
Konturdarstellung.

Oben: stationäre Vorausfahrt

Unten: Stoppmanöver

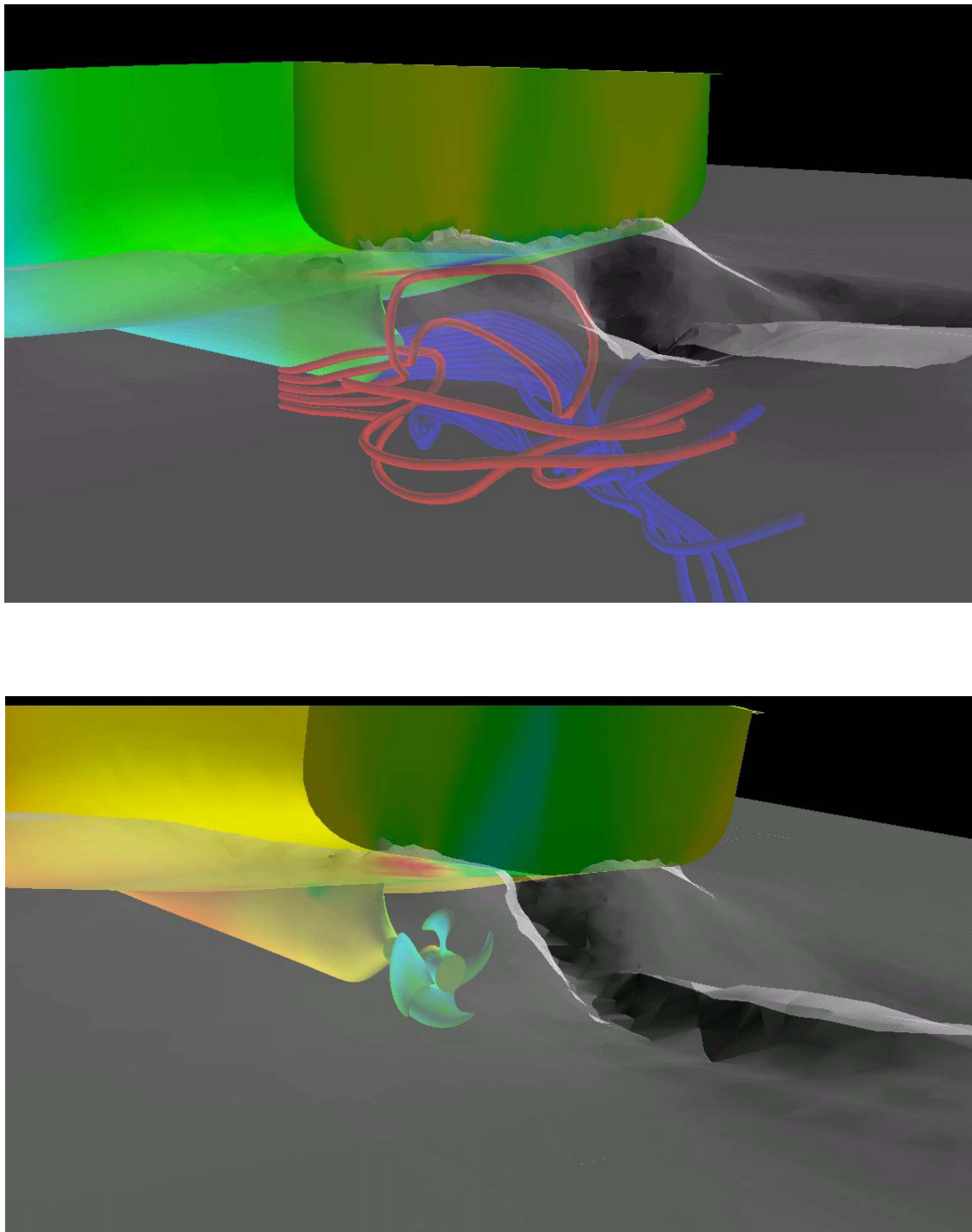


Abbildung 18

Berechnung mit Hilfe der Methode für rotierende Antriebsorgane: Druckverteilung und Verformung der freien Wasseroberfläche am Schiffsheck im Propulsionsversuch.

Oben: Flächenkraftmodell als Vergleichsergebnis

Unten: Overset-Berechnung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden erste Ergebnisse bei der numerischen Simulation von Stoppmanövern erzielt. Es hat sich gezeigt, dass die angewendeten Verfahren eine gute Möglichkeit darstellen, einen Eindruck von der Wechselwirkung zwischen Propeller und freier Wasseroberfläche zu vermitteln und als zukünftiges Entwurfswerkzeug genutzt werden können. Die Komplexität der Hinterschiffsumströmung unter Einwirkung der Luftphase im Falle des Umkehrschubs bei noch anliegender Vorausfahrt (Beginn des Stoppmanövers) verweist gleichzeitig auf einen Entwicklungsbedarf innerhalb der momentan verfügbaren Simulationsverfahren.

4.4 Beschreibung des Gesamtkonzepts und Bewertung der Verbesserungsmöglichkeiten

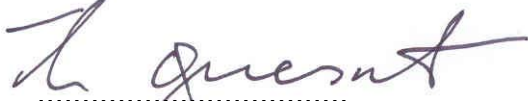
Für das Stoppvermögen des Schiffes zeigte sich, dass auch drastische Maßnahmen, wie zum Beispiel eine zusätzliche Bremsklappe, den Stoppweg des Schiffes nicht wesentlich verkürzen. Es stellt sich die Frage, ob in dieser Beziehung die von der Verwaltung gestellten Anforderungen an den Stoppweg noch als praxisgerecht angesehen werden können. Zielführend wäre ein Abnahmeversuch unter Standardbedingungen, die noch zu definieren wären. Die Zulassungskriterien der Rheinschiffsuntersuchungsordnung zum Beispiel verlangen Stoppversuche aus einer Anfangsgeschwindigkeit von 13 km/h, wobei die meisten Schiffe schneller fahren können.

Die Entwicklung des schnelleren Flachwasserfahrgastschiffes kann im Rahmen dieses Projekts als erfolgreich bezeichnet werden. Das neu entwickelte Fahrgastschiff erzielt bei moderatem Leistungsbedarf Geschwindigkeiten von ca. 30 km/h und weist ein gutes Manövrierverhalten auf. Die Firmen, die sich im Rahmen des Projektbegleitenden Ausschusses am Forschungsvorhaben beteiligt haben, können die bei DST erarbeiteten Daten für Ihre eigenen Entwürfe nutzen.

Duisburg, April 2006
Gu/KI

Fachbereich Schiffsentwicklung
und Schiffahrtsbetriebstechnik

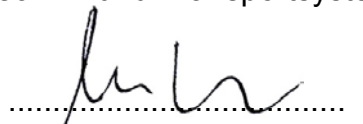
Projektbearbeiter:


.....
(Dipl.-Ing. Th. Guesnet)

Projektleiter:


.....
(Dipl.-Ing. J. Zöllner)

DST - Entwicklungszentrum für
Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.


.....
(Prof. Dr. P. Engelkamp)
Institutsdirektor

Literatur

- [1] Chao, K.Y.
Numerische Propulsionsversuche
HANSA, Nr. 9, 2000

- [2] Hough, G.R.; Ordway, D.E.
The Generalized Actuator Disk
Developments in Theoretical and Applied Mechanics, 2, 1965, S. 317-336

- [3] Schetz, J. A.; Favin, S.
Numerical solution for the near wake of a body with propeller
Journal of Hydronautics 11, 1977, S. 136-141

- [4] Schetz, J. A.; Favin, S.
Numerical solution of a body-propeller combination flow including swirl and comparisons with data
Journal of Hydronautics 13, 1979, S. 46-51

- [5] Stern, F.; Kim, H.T.; Patel, V.C.; Chen, H.C.
A viscous flow approach to the computation of propeller-hull interaction
Journal of Ship Research, 32, 1988

Anlagenverzeichnis

A1	Schiffsdaten
A2	Spantenriss M1761
A3	Anrissplan
A4	Anordnungszeichnung
A5	Propellerzeichnung P 52 r/l
A6	Freifahrtdiagramm P 52 r/l
A7	Ruderblatt R 838
A8	Anordnung einer Klappe zum Stoppen
B1 bis B4	Ergebnisse Widerstandsversuche
B5 bis B8	Ergebnisse Propulsionsversuche
C1 bis C4	Tabellen Widerstandsversuche
C5 bis C8	Tabellen Propulsionsversuche
D1 bis D3	Ergebnistabellen Stoppversuche mit programmiertem Ablauf
E1 bis E4	Diagramme für Stoppversuche mit programmiertem Ablauf
Anhang	Richtlinien Nr. 1 und Nr. 2 der Rheinschiffsuntersuchungsordnung

PROTOKOLL

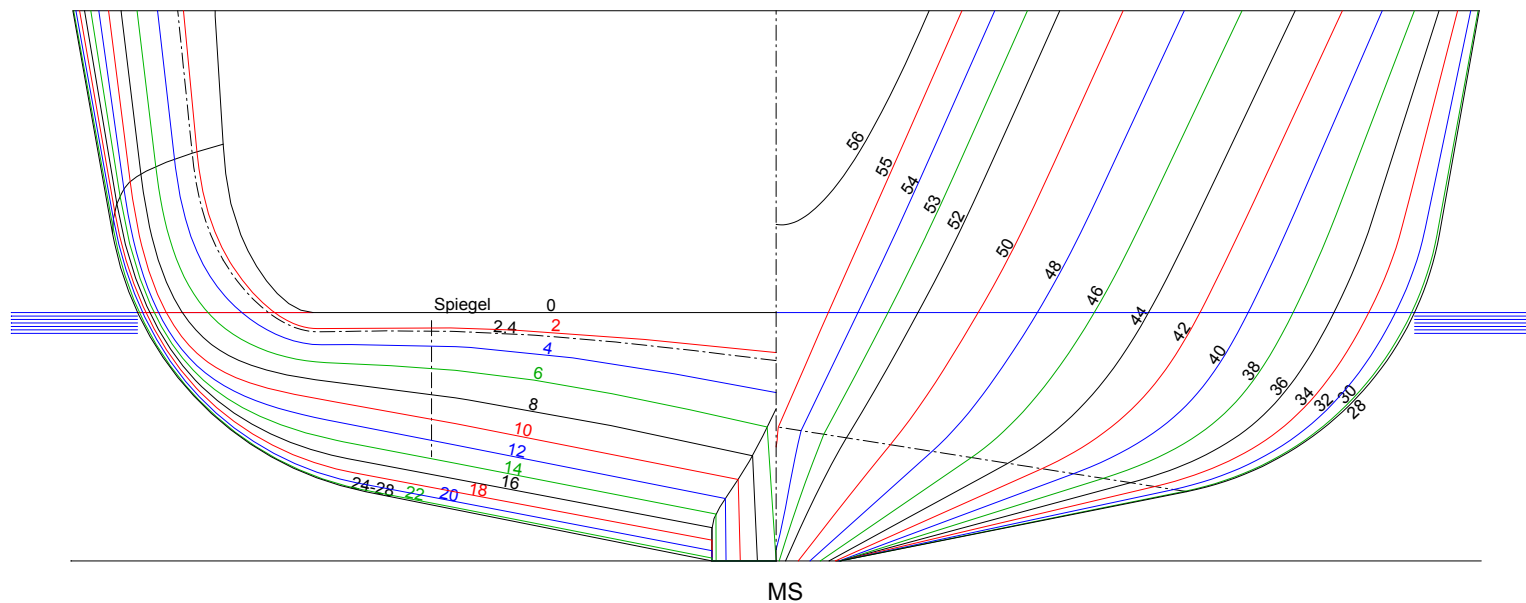
Modell-Nr. M1761 - Maßstab 1 : 10,83

Schiffsabmessungen:

Länge zwischen den Loten	L_{0-56}	[m]	56,0
Länge in der Wasserlinie	L_{WL}	[m]	55,61
Breite auf Spanten	B_m	[m]	7,96
Tiefgang	T	[m]	1,55
Verdrängung	∇	[m ³]	320,1
Benetzte Oberfläche	S	[m ²]	412,0
Blockkoeffizient	C_B	[-]	0,467

Propellerdaten: P 52 r/l

Propellertyp	Ostermann		
Durchmesser	D	[m]	1,3
Steigung	P	[m]	1,17
Steigungsverhältnis	P/D	[-]	0,9
Flächenverhältnis	A_E/A_0	[-]	0,56
Flügelzahl	Z	[-]	4
Profillänge auf 0,7 R	c	[m]	-



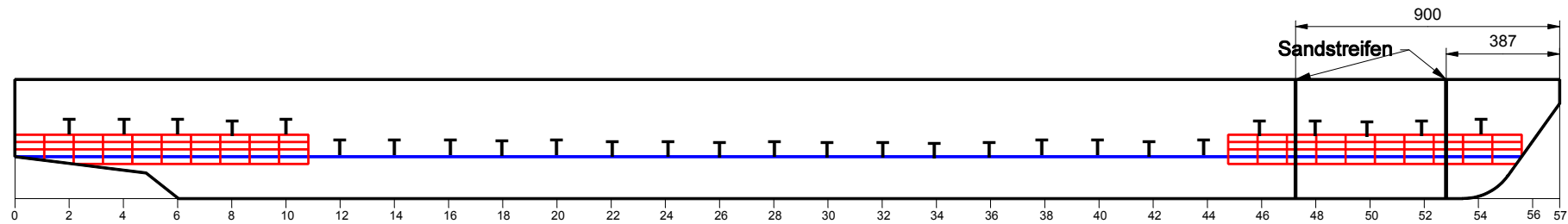
Modell M1761

Lambda = 10.83
 Länge 0 - 56 = 5170.8 mm
 Breite = 812.6 mm
 Tiefgang = 143.1 mm
 Spantabstand = 92.3 mm



DST. 29.03.06

ANRISSPLAN



M 1761

Lambda = 10.83

Länge 0 - 56 = 5170.8 mm

Breite = 812.6 mm

Tiefgang = 143.1 mm

Spantabstand = 92.3 mm

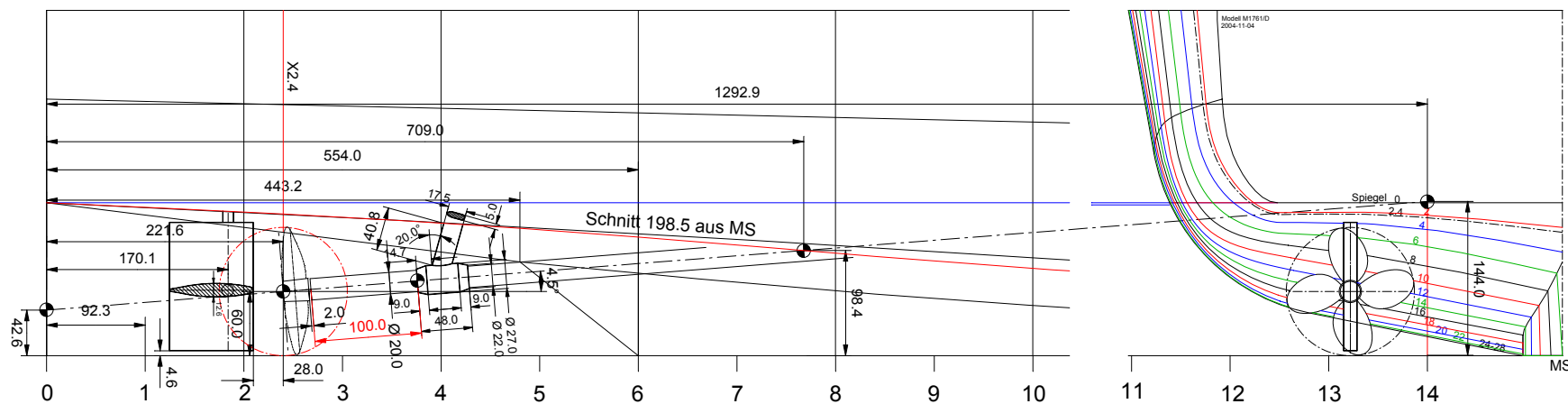
Tubulenzerzeuger

Art : Sandstreifen

Lage : siehe Zeichnung

WL-Abst. = 4 x 25.0 mm

Fotonetz = 10 x 100 mm



P 52 r P 52 l
Anordnungszeichnung

Modell M1761

Lambda = 10.83

Länge 0 - 56 = 5170.8 mm

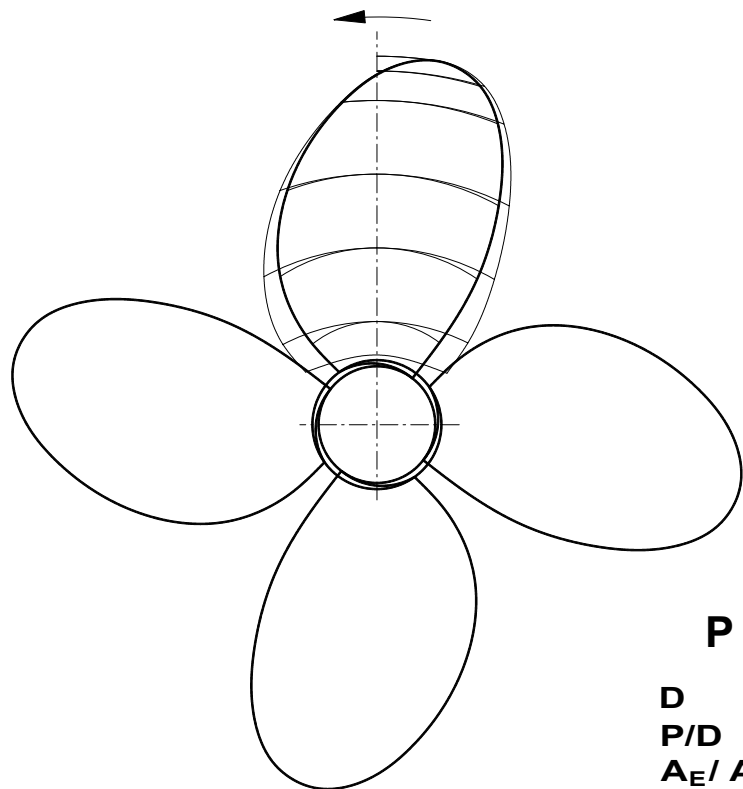
Breite = 812.6 mm

Tiefgang = 143.1 mm

Spantabstand = 92.3 mm

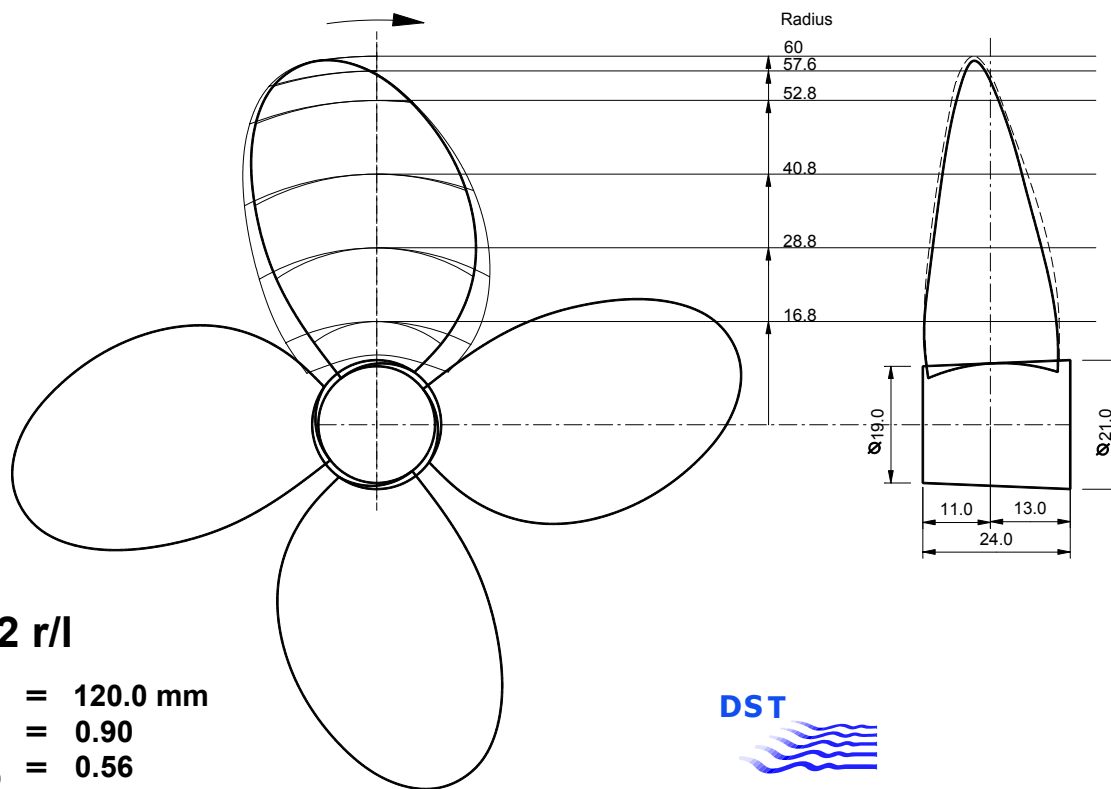


DST. 29.03.06



P 52 r/l

D	=	120.0 mm
P/D	=	0.90
A_E / A_0	=	0.56
Z	=	4



DST

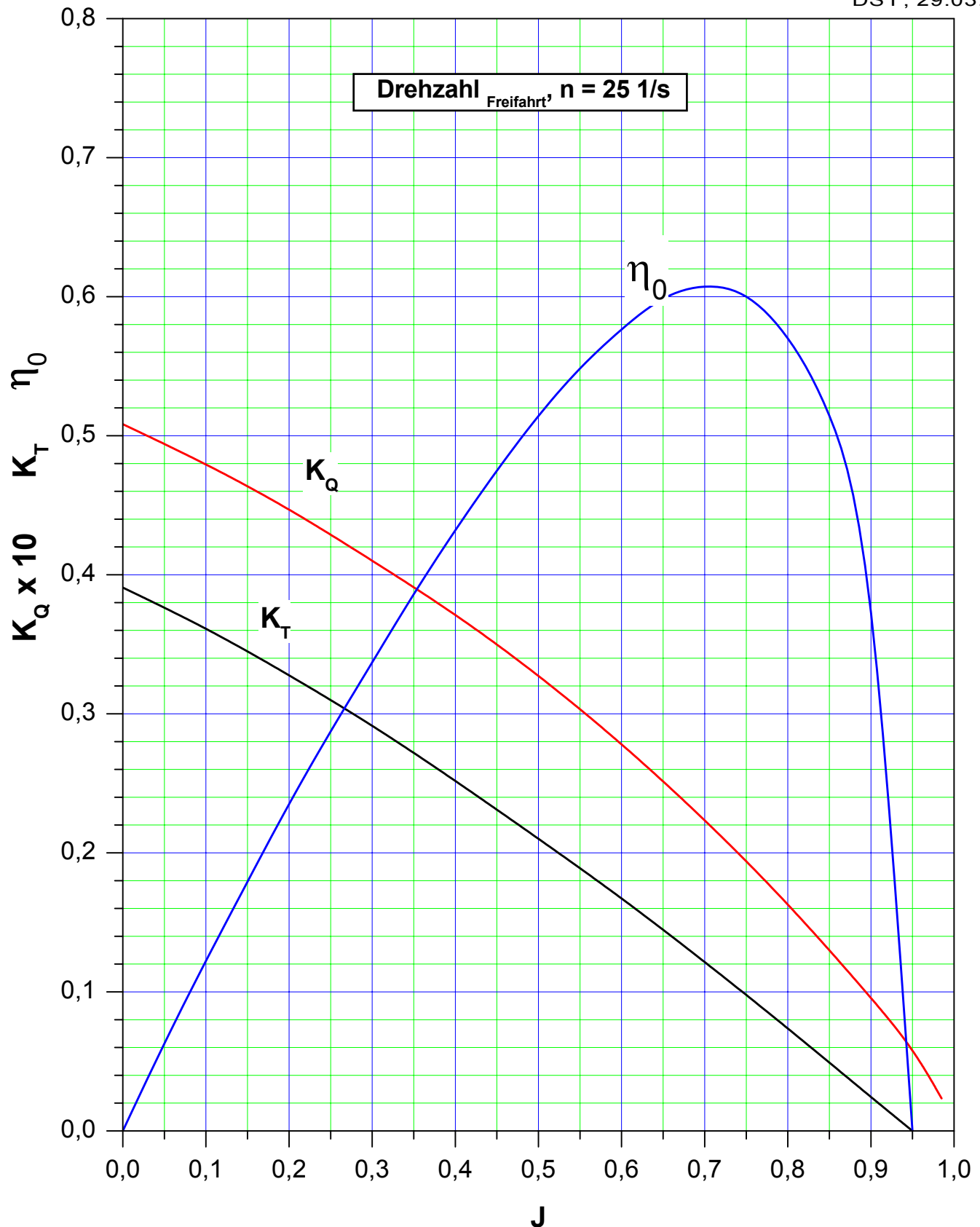
DST, 29.03.06

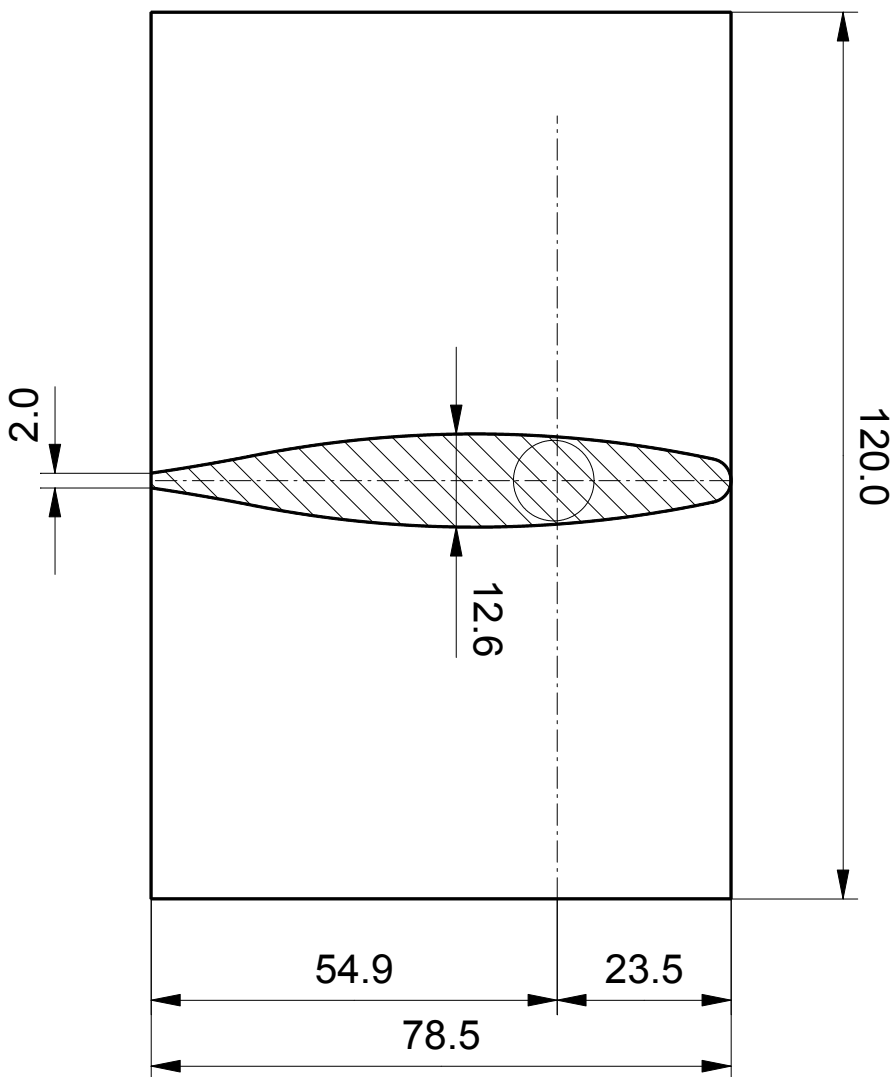
Propeller-Nr.: 52 r/l

Propellertyp	Ostermann
Durchmesser	D = 0,120 m
Propeller	Z = 4
Steigungsverhältnis	P/D = 0,900
Flächenverhältnis	$A_E/A_0 = 0,56$
C 0.7 R	= 0,037 m



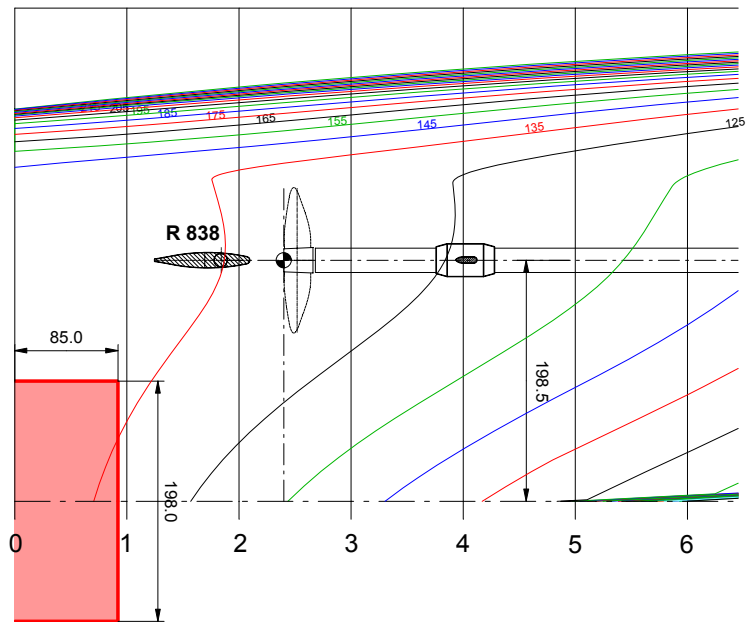
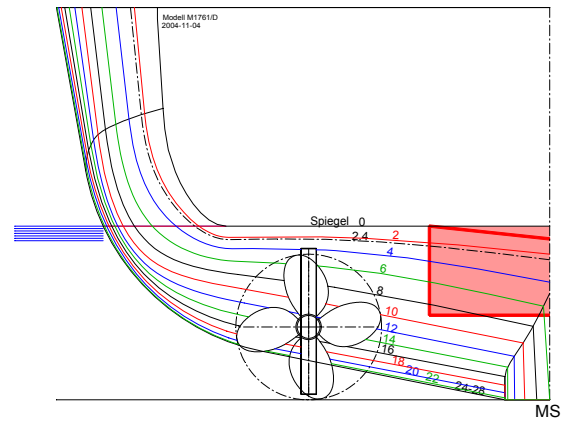
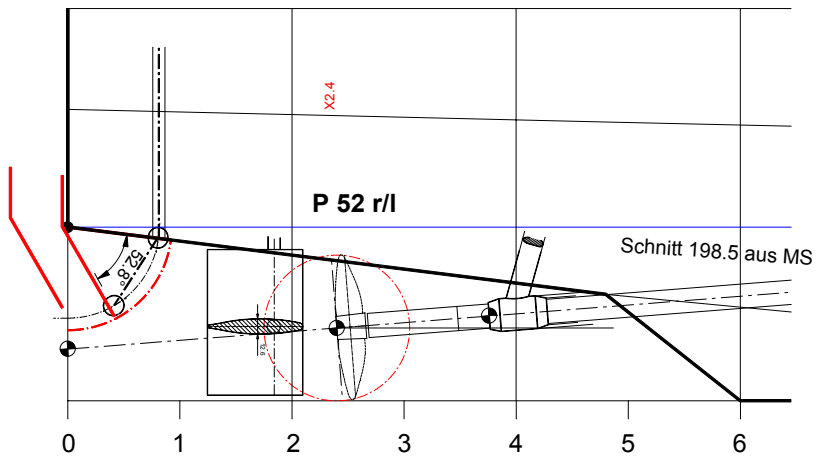
DST, 29.03.06





R838

2 Ruder für M1761



Anordnung einer Klappe zum Stoppen

Modell M1761

$\Lambda = 10.83$
 Länge 0 - 56 = 5170.8 mm
 Breite = 812.6 mm
 Tiefgang = 143.1 mm
 Spantabstand = 92.3 mm

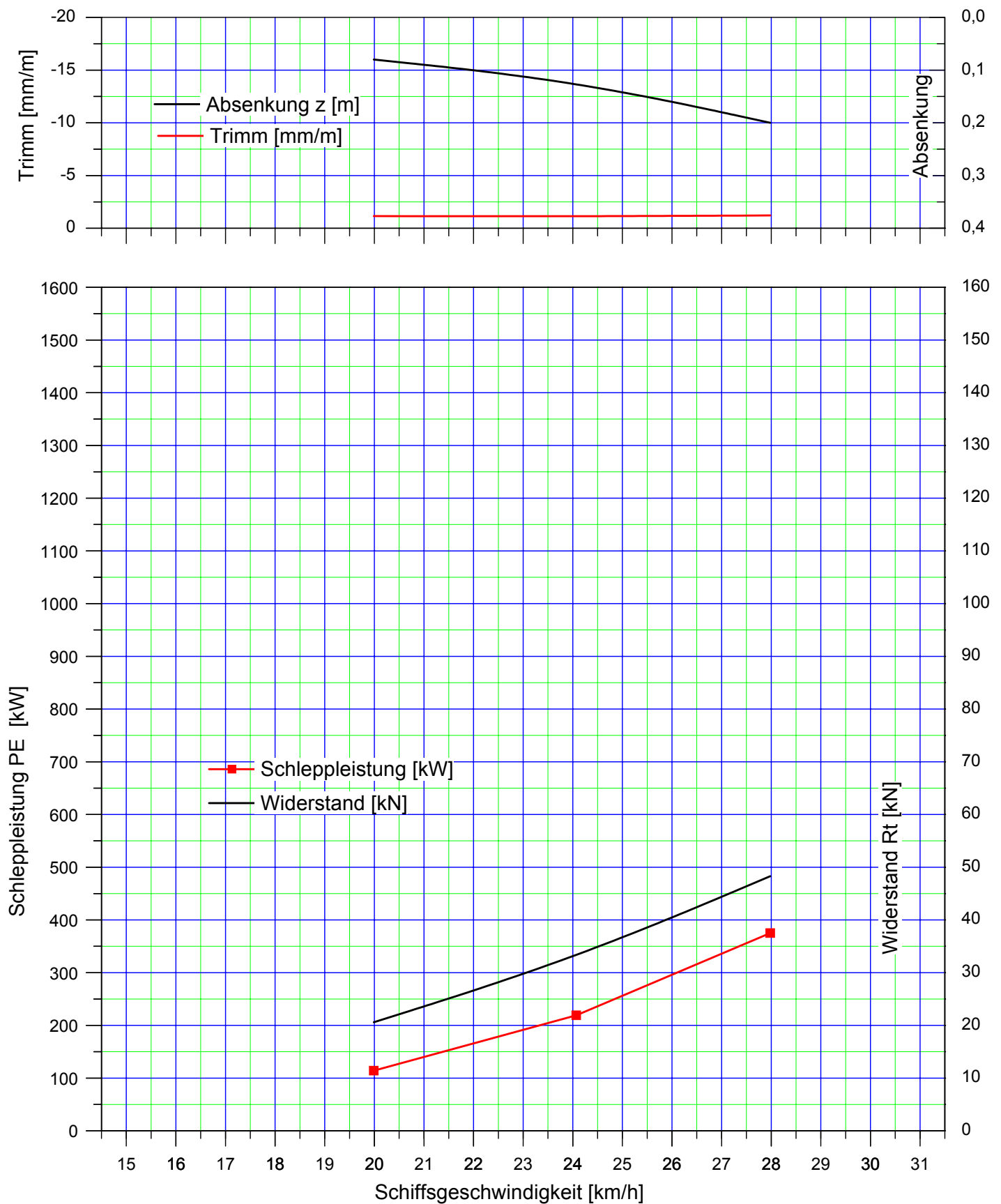


Widerstandsversuch

Model M1761

$h = 12.0 \text{ m}$

$T = 1.55 \text{ m}$

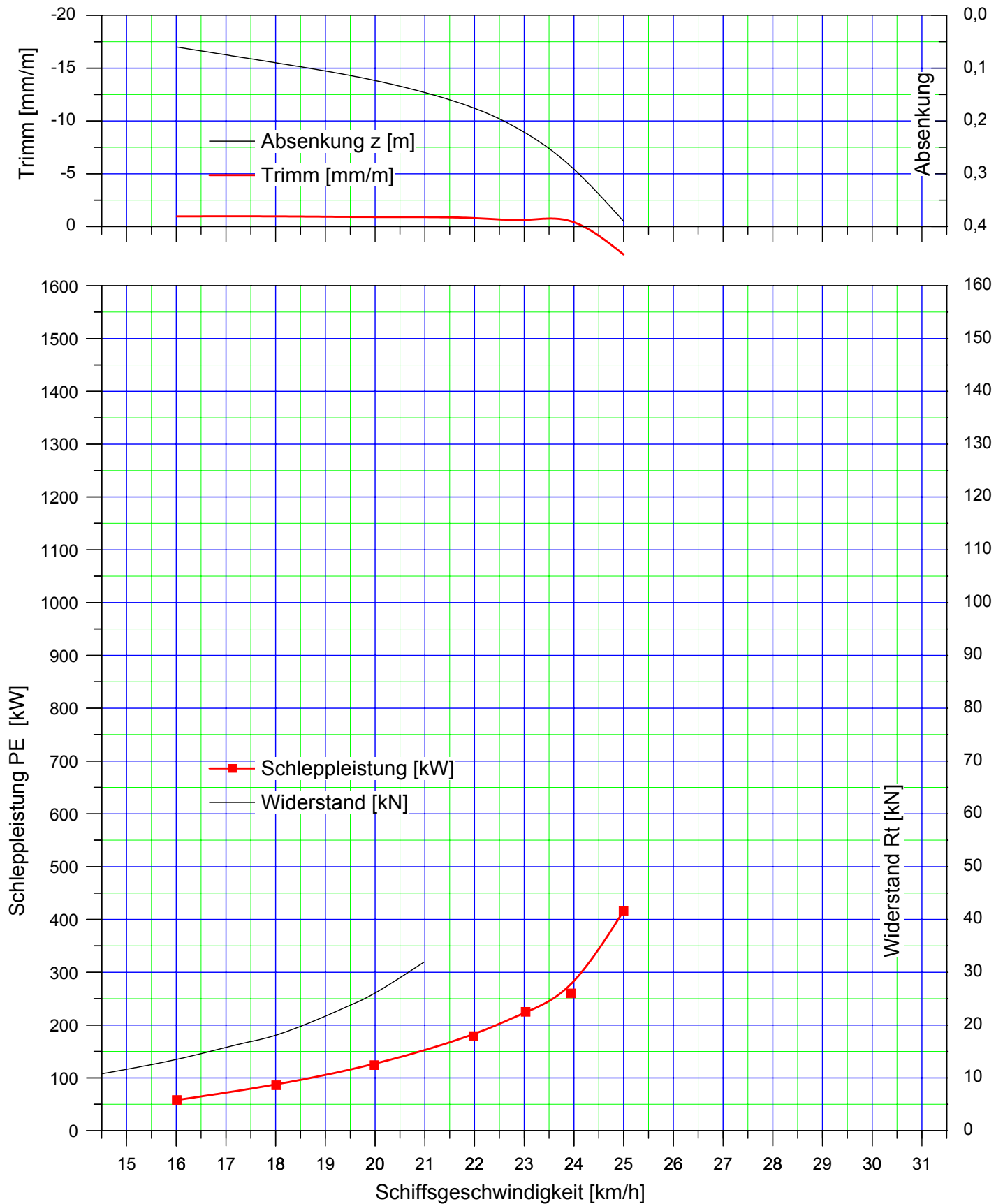


Widerstandsversuch

Model M1761

$h = 7,50 \text{ m}$

$T = 1,55 \text{ m}$

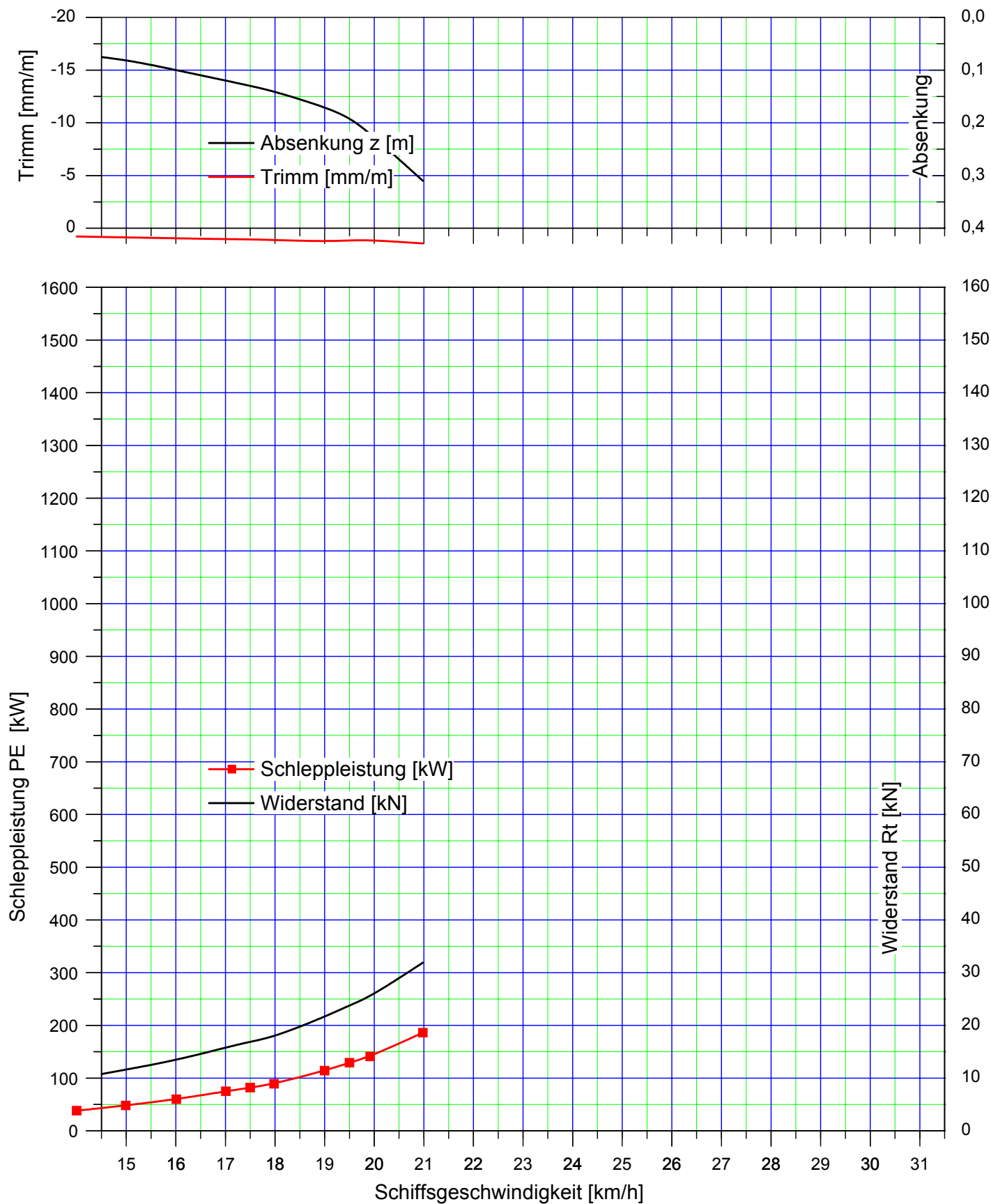


Widerstandsversuch

Model M1761

$h = 5,00 \text{ m}$

$T = 1,55 \text{ m}$

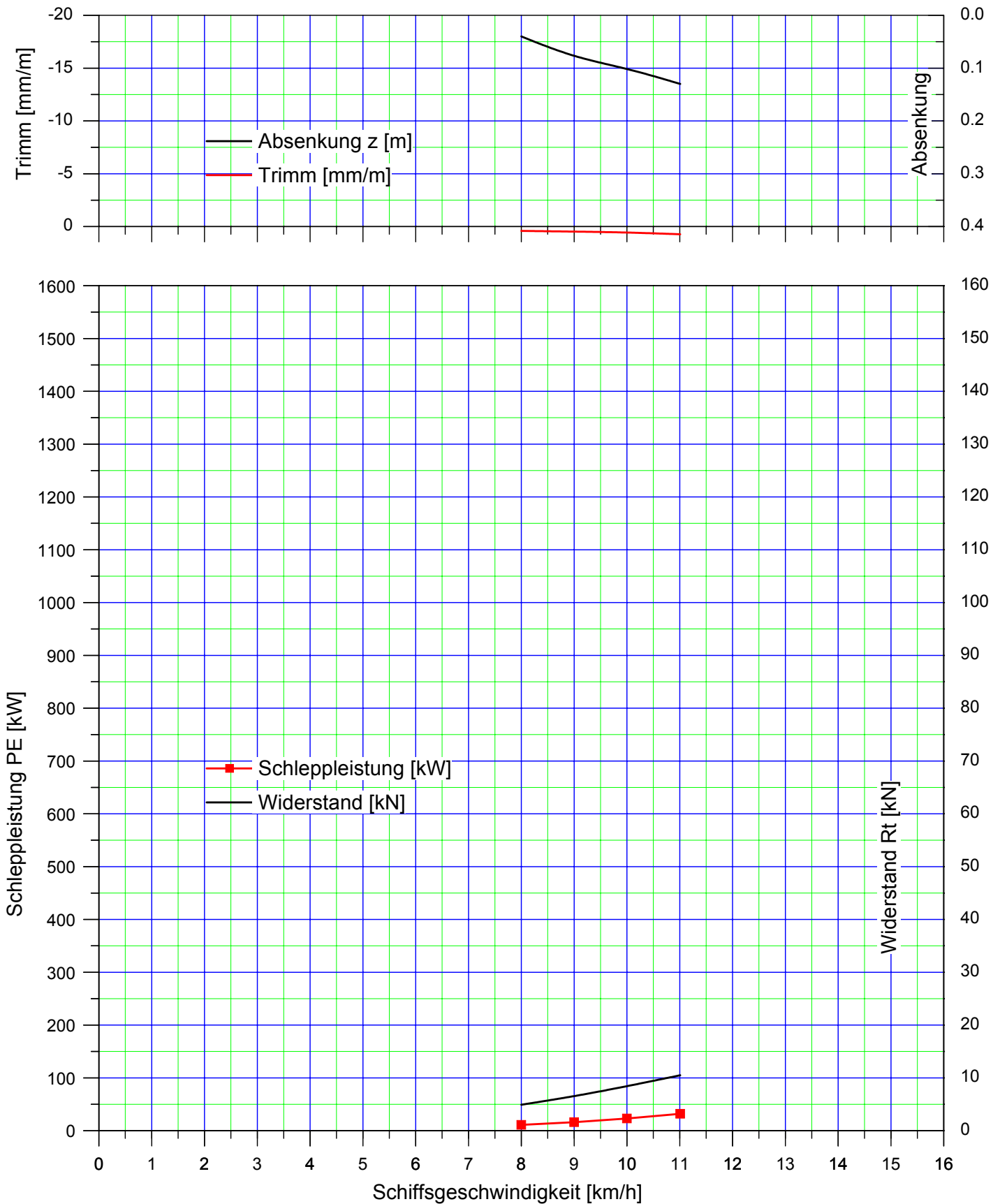


Widerstandsversuch

Model M1761

$h = 2,00 \text{ m}$

$T = 1,55 \text{ m}$

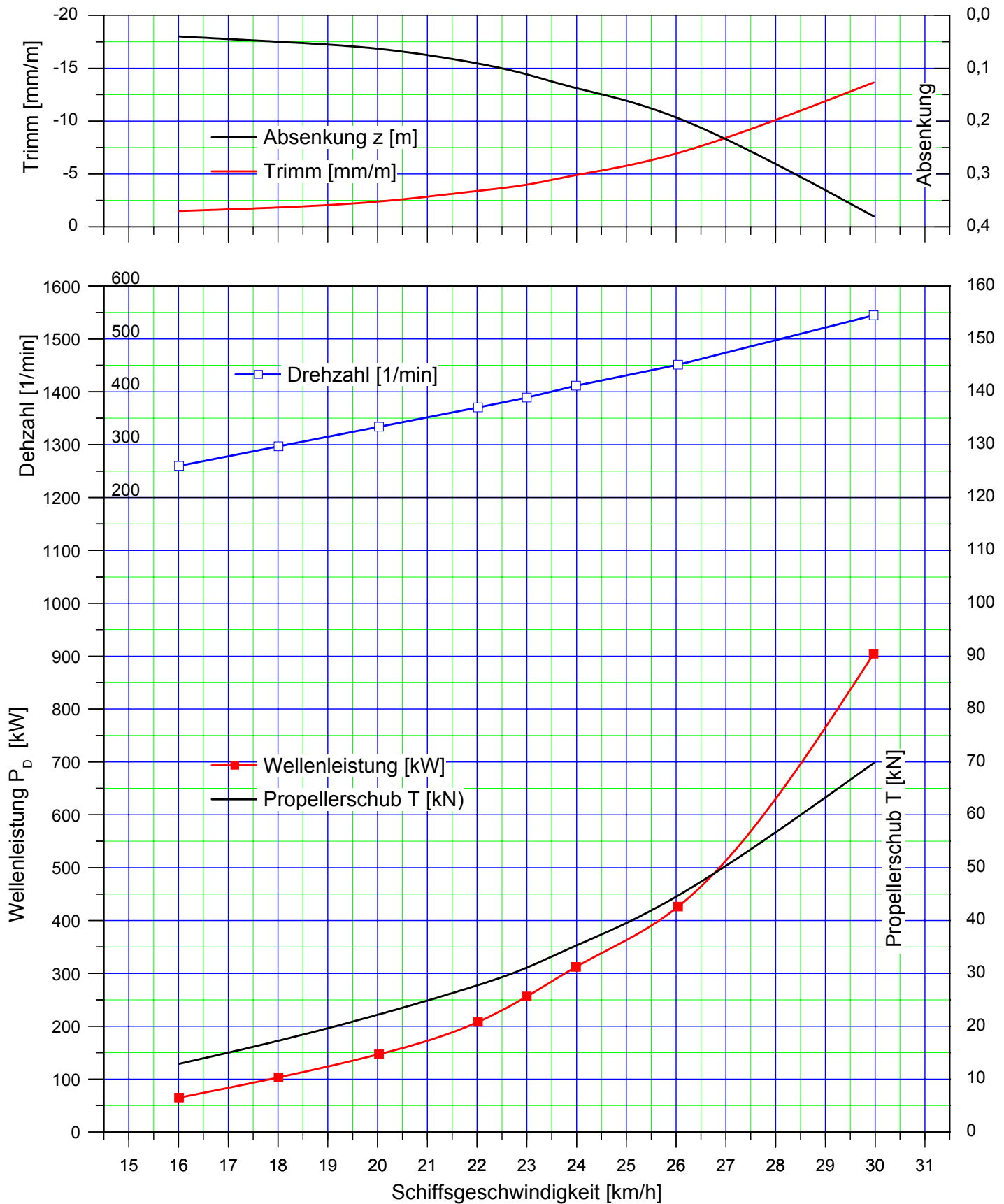


Propulsionsversuch

Model M1761

$h = 12.0 \text{ m}$

$T = 1.55 \text{ m}$

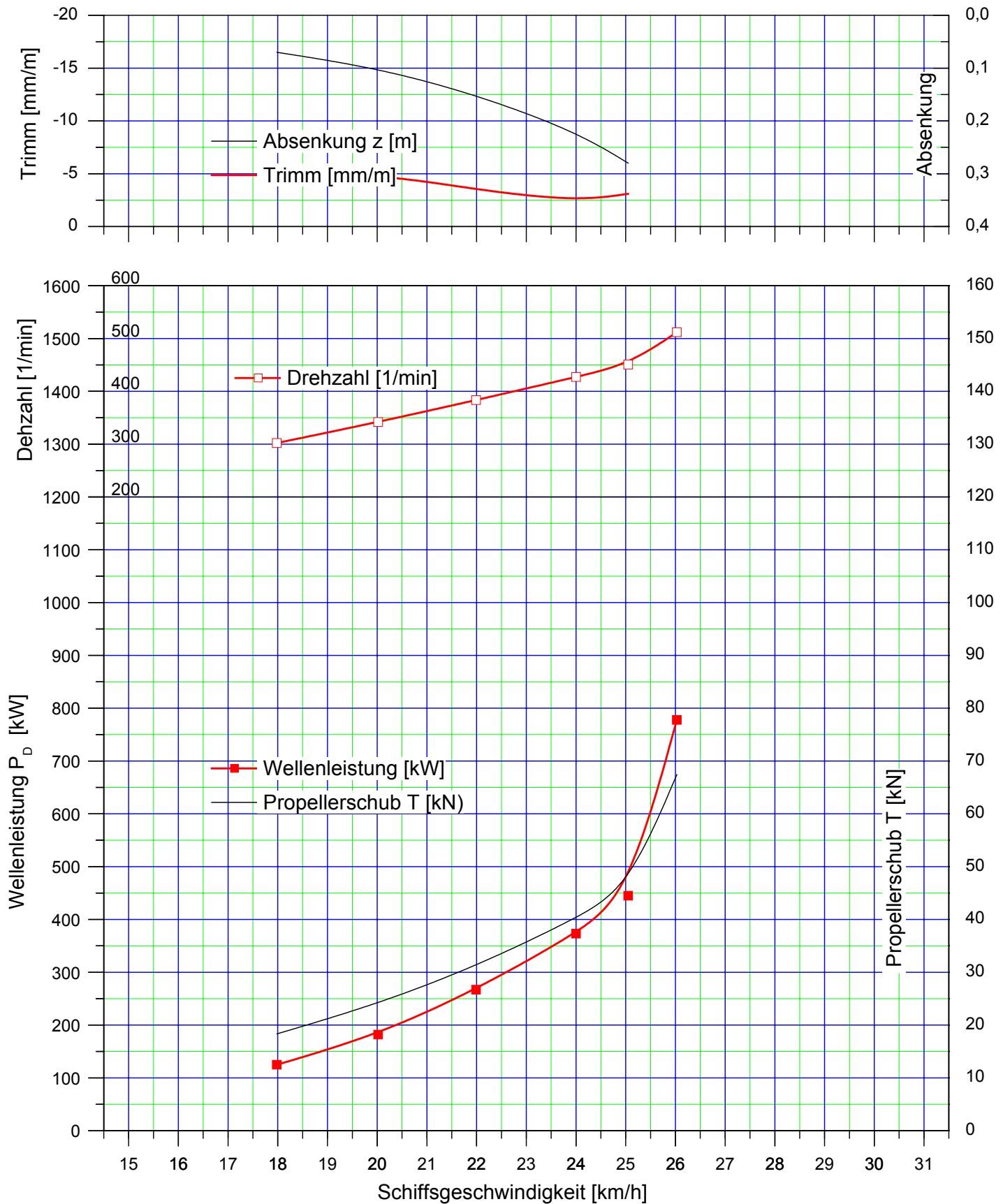


Propulsionsversuch

Model M1761

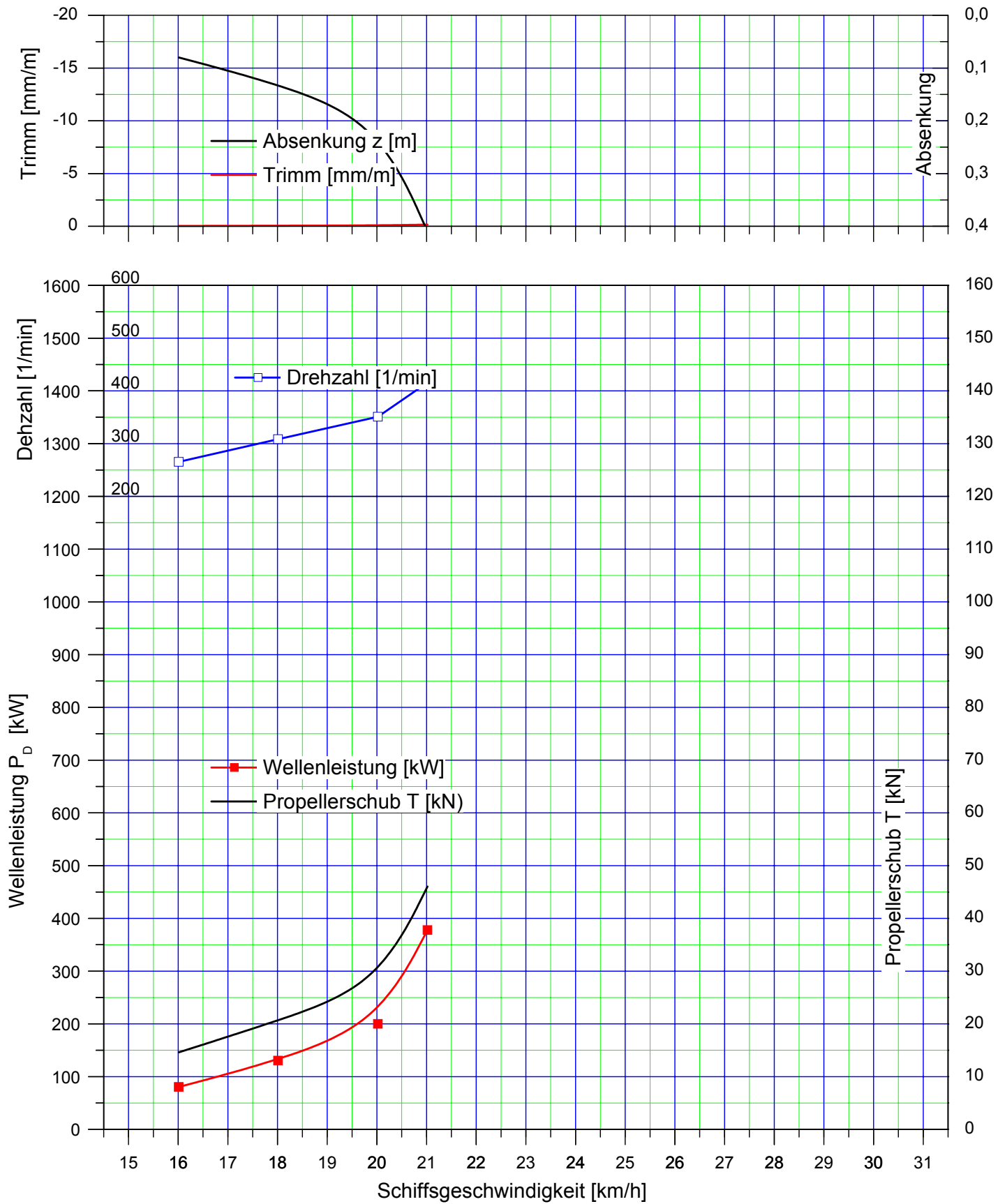
$h = 7,50 \text{ m}$

$T = 1,55 \text{ m}$



Propulsionsversuch

Model M1761
h = 5,00 m
T = 1,55 m

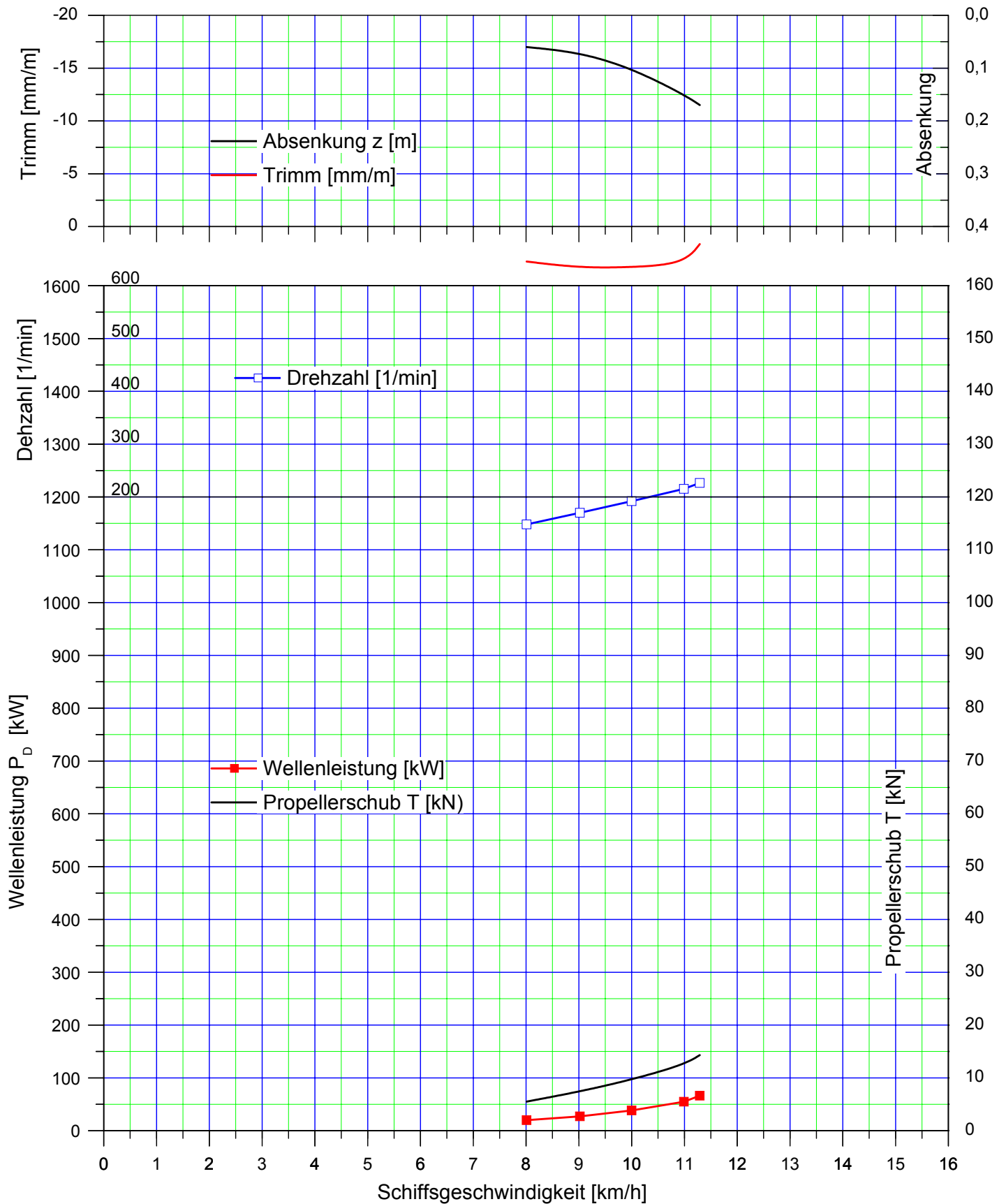


Propulsionsversuch

Model M1761

$h = 2,00 \text{ m}$

$T = 1,55 \text{ m}$



Versuchsergebnisse:

Widerstandsversuch

Auftrag-Nr.	2373
Kennwort	FGS-Stoppen
Modell-Nr.	1761
Datum	12.01.2005
Versuchs-Nr.	1005

			Modell	Schiff
Maßstab			10.83	1
Länge	Lwl	m	5.135	55.61
Breite	B	m	0.813	8.80
Vers.tiefgang	T	m	0.143	1.55
Verdrängung	D	m³	0.242	307
Oberfläche	S	m²	3.520	3.52
Wassertiefe	h	m	0.185	2.00

Reibungskorrektur nach ITTC-1957

Zusatzwiderstandsbeiwert	CA		0.0002
W.temperatur	tw	°C	16.0
Dichte Wasser	rho	kg/m³	998.9
kin. Zähigkeit	nue	m²/s	1.1098E-06

Modell

Versuch Nr.	V	V	R _D	R _T o. Reib. korr.	F _D	R _T m. Reib. korr.	P _E	EPS	Trimm	Abs.
	[km/h]	[m/s]	[N]	[N]	[N]	[N]	[W]	[-]	[1/60°]	[m]
0	8.00	0.676	0.000	20.170	1.17	19.00	12.84	8.031E-03	4.13	0.003
0	9.00	0.760	0.000	26.090	1.43	24.66	18.75	1.042E-02	7.03	0.006
0	10.00	0.844	0.000	33.180	1.71	31.47	26.57	1.330E-02	9.19	0.008

Prognose Großausführung

Versuch Nr.	V	Fn	Fn _h	R _D	R _T o. Reib. korr.	R _T m. Reib. korr.	P _E	EPS	Trimm	Abs.
	[km/h]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kW]	[-]	[1/60°]	[m]
0	8.00	0.095	0.501	0.0	25.6	24.1	53.7	8.031E-03	4.13	0.033
0	9.00	0.107	0.564	0.0	33.1	31.3	78.4	1.042E-02	7.03	0.063
0	10.00	0.119	0.627	0.0	42.1	40.0	111.1	1.330E-02	9.19	0.084

Versuchsergebnisse:

Widerstandsversuch

Auftrag-Nr.	2373
Kennwort	FGS-Stoppen
Modell-Nr.	1761
Datum	29.11.2004
Versuchs-Nr.	42704

			Modell	Schiff
Maßstab			10.83	1
Länge	Lwl	m	5.135	55.61
Breite	B	m	0.813	8.80
Vers.tiefgang	T	m	0.143	1.55
Verdrängung	D	m³	0.242	307
Oberfläche	S	m²	3.520	3.52
Wassertiefe	h	m	0.462	5.00

Reibungskorrektur nach ITTC-1957

Zusatzwiderstandsbeiwert	CA		0.0002
W.temperatur	tw	°C	16.0
Dichte Wasser	rho	kg/m³	998.9
kin. Zähigkeit	nue	m²/s	1.1098E-06

Modell

Versuch Nr.	V	V	R _D	R _T o. Reib. korr.	F _D	R _T m. Reib. korr.	P _E	EPS	Trimm	Abs.
	[km/h]	[m/s]	[N]	[N]	[N]	[N]	[W]	[-]	[1/60°]	[m]
4270401	14.00	1.182	0.000	10.800	3.04	7.76	9.17	3.279E-03	6.55	0.007
4270402	14.99	1.265	0.000	12.540	3.42	9.12	11.53	3.852E-03	7.70	0.008
4270403	16.01	1.351	0.000	14.400	3.83	10.57	14.29	4.469E-03	9.10	0.009

Prognose Großausführung

Versuch Nr.	V	Fn	Fn _h	R _D	R _T o. Reib. korr.	R _T m. Reib. korr.	P _E	EPS	Trimm	Abs.
	[km/h]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kW]	[-]	[1/60°]	[m]
4270401	14.00	0.167	0.555	0.0	13.7	9.9	38.3	3.279E-03	6.55	0.071
4270402	14.99	0.178	0.594	0.0	15.9	11.6	48.2	3.852E-03	7.70	0.083
4270403	16.01	0.190	0.635	0.0	18.3	13.4	59.7	4.469E-03	9.10	0.099

Versuchsergebnisse:

Widerstandsversuch

Auftrag-Nr.	2373
Kennwort	FGS-Stoppen
Modell-Nr.	1761
Datum	05.01.2005
Versuchs-Nr.	10501

			Modell	Schiff
Maßstab			10.83	1
Länge	Lwl	m	5.135	55.61
Breite	B	m	0.813	8.80
Vers.tiefgang	T	m	0.143	1.55
Verdrängung	D	m³	0.242	307
Oberfläche	S	m²	3.520	3.52
Wassertiefe	h	m	0.692	7.49

Reibungskorrektur nach ITTC-1957

Zusatzwiderstandsbeiwert	CA		0.0002
W.temperatur	tw	°C	16.0
Dichte Wasser	rho	kg/m³	998.9
kin. Zähigkeit	nue	m²/s	1.1098E-06

Modell

Versuch Nr.	V	V	R _D	R _T o. Reib. korr.	F _D	R _T m. Reib. korr.	P _E	EPS	Trimm	Abs.
	[km/h]	[m/s]	[N]	[N]	[N]	[N]	[W]	[-]	[1/60°]	[m]
10501	16.01	1.351	0.000	14.040	3.83	10.21	13.80	4.317E-03	5.31	0.003
10502	18.01	1.520	0.000	18.290	4.68	13.61	20.68	5.750E-03	8.21	0.006
10503	19.99	1.687	0.000	23.190	5.62	17.57	29.65	7.427E-03	11.08	0.009

Prognose Großausführung

Versuch Nr.	V	F _n	F _{nh}	R _D	R _T o. Reib. korr.	R _T m. Reib. korr.	P _E	EPS	Trimm	Abs.
	[km/h]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kW]	[-]	[1/60°]	[m]
10501	16.01	0.190	0.519	0.0	17.8	13.0	57.7	4.317E-03	5.31	0.031
10502	18.01	0.214	0.583	0.0	23.2	17.3	86.5	5.750E-03	8.21	0.062
10503	19.99	0.238	0.647	0.0	29.5	22.3	123.9	7.427E-03	11.08	0.096

Versuchsergebnisse:

Widerstandsversuch

Auftrag-Nr.	2373
Kennwort	FGS-Stoppen
Modell-Nr.	1761
Datum	02.12.2004
Versuchs-Nr.	43404

			Modell	Schiff
Maßstab			10.83	1
Länge	Lwl	m	5.135	55.61
Breite	B	m	0.813	8.80
Vers.tiefgang	T	m	0.143	1.55
Verdrängung	D	m³	0.242	307
Oberfläche	S	m²	3.520	3.52
Wassertiefe	h	m	1.073	11.62

Reibungskorrektur nach ITTC-1957

Zusatzwiderstandsbeiwert	CA		0.0002
W.temperatur	tw	°C	16.0
Dichte Wasser	rho	kg/m³	998.9
kin. Zähigkeit	nue	m²/s	1.1098E-06

Modell

Versuch Nr.	V	V	R _D	R _T o. Reib. korr.	F _D	R _T m. Reib. korr.	P _E	EPS	Trimm	Abs.
	[km/h]	[m/s]	[N]	[N]	[N]	[N]	[W]	[-]	[1/60°]	[m]
0	19.99	1.687	0.000	21.800	5.62	16.18	27.30	6.839E-03	7.03	4.081
0	24.07	2.032	0.000	33.430	7.69	25.74	52.31	1.088E-02	11.34	8.471
0	27.98	2.362	0.000	48.040	10.03	38.01	89.78	1.606E-02	18.83	15.710

Prognose Großausführung

Versuch Nr.	V	Fn	Fn _h	R _D	R _T o. Reib. korr.	R _T m. Reib. korr.	P _E	EPS	Trimm	Abs.
	[km/h]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kW]	[-]	[1/60°]	[m]
0	19.99	0.238	0.520	0.0	27.7	20.6	114.1	6.839E-03	7.03	44.197
0	24.07	0.286	0.626	0.0	42.5	32.7	218.7	1.088E-02	11.34	91.741
0	27.98	0.333	0.728	0.0	61.0	48.3	375.3	1.606E-02	18.83	170.139

Versuchsergebnisse:

Propulsionsversuch

Auftrag-Nummer	2373
Kennwort	FGS-Stoppen
Modell-Nummer	1761
Datum	29.11.2004
Versuchs-Nr	805

Maßstab	lam		10.83
Länge	Lwl	m	54.99
Breite	B	m	8.80
Vers.tiefgang	T	m	1.55
Verdrängung	Vol	m³	307
Oberfläche	S	m²	413
Wassertiefe	h	m	2.00
Gesamtleistung	P _D	kW	836.04
Propeller Nr.			0
Prop.durchmesser	Dp	m	0
Profillänge	C. 07R	m	0.000
Drehrichtung	über oben nach innen		
Düse Nr.			-
Ruder Nr.			R 835
Reibungsabzug nach ITTC-1957			
	CA		0.0002
Wassertemperatur	tw	°C	15.8
Dichte Wasser	rho	kg/m³	998.9
kin. Zähigkeit	nue	m²/s	1.1155E-06
Prop.-Scale-Effect	m _P		0.860
Düs.-Scale-Effect	m _D		0.926
Scale-Effect	m		0.796

Ergebnisse der Großausführung

Hauptgrößen

Versuch Nr.	V	Fn	Fnh	P _D ohne Scale- Effect	P _D mit Scale- Effect	T gesamt	n mittlere	Trimm	Abs.
	[km/h]	[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kN]	[1/min]	[1/60°]	[m]
80501	8.01	0.096	0.502	20	16	5.50	148.0	3.31	0.06
80502	9.02	0.108	0.566	27	22	7.41	170.0	3.92	0.07
80503	10.00	0.120	0.627	38	31	9.66	191.9	3.86	0.10
80504	0.00	0.000	0.000	0	0	0.00	0.0	0.00	0.00
80505	10.99	0.131	0.690	55	44	12.49	215.1	3.55	0.15
80506	11.29	0.135	0.708	66	53	14.30	226.5	1.66	0.17
80507	0.00	0.000	0.000	0	0	0.00	0.0	0.00	0.00

Versuchsergebnisse:

Propulsionsversuch

Auftrag-Nummer	2373
Kennwort	FGS-Stoppen
Modell-Nummer	1761
Datum	29.11.2004
Versuchs-Nr	42904

Maßstab	lam		10.83
Länge	Lwl	m	54.99
Breite	B	m	8.80
Vers.tiefgang	T	m	1.55
Verdrängung	Vol	m³	307
Oberfläche	S	m²	413
Wassertiefe	h	m	5.00
Gesamtleistung	P _D	kW	836.04
Propeller Nr.			0
Prop.durchmesser	Dp	m	0
Profillänge	C. 07R	m	0.000
Drehrichtung	über oben nach innen		
Düse Nr.			-
Ruder Nr.			R 835
Reibungsabzug nach ITTC-1957			
	CA		0.0002
Wassertemperatur	tw	°C	18.0
Dichte Wasser	rho	kg/m³	998.5
kin. Zähigkeit	nue	m²/s	1.0547E-06
Prop.-Scale-Effect	m _P		0.860
Düs.-Scale-Effect	m _D		0.926
Scale-Effect	m		0.796

Ergebnisse der Großausführung

Hauptgrößen

Versuch Nr.	V	Fn	Fn _h	P _D ohne Scale-Effect	P _D mit Scale-Effect	T gesamt	n mittlere	Trimm	Abs.
	[km/h]	[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kN]	[1/min]	[1/60°]	[m]
4290401	16.01	0.191	0.635	80	64	14.61	265.4	-0.03	0.08
4290402	18.01	0.215	0.714	130	104	20.59	308.3	-0.05	0.13
4290403	20.02	0.239	0.794	200	159	27.23	350.9	-0.08	0.20
4290404	22.00	0.263	0.873	1608	1281	112.95	593.0	-0.45	1.15
4290405	21.02	0.251	0.834	378	301	46.03	415.6	-0.16	0.41
4290406	0.00	0.000	0.000	0	0	0.00	0.0	0.00	0.00
0	0.00	0.000	0.000	0	0	0.00	0.0	0.00	0.00

Versuchsergebnisse:

Propulsionsversuch

Auftrag-Nummer	2373
Kennwort	FGS-Stoppen
Modell-Nummer	1761
Datum	06.01.2005
Versuchs-Nr	305

Maßstab	lam		10.83
Länge	Lwl	m	54.99
Breite	B	m	8.80
Vers.tiefgang	T	m	1.55
Verdrängung	Vol	m³	307
Oberfläche	S	m²	413
Wassertiefe	h	m	7.50

Gesamtleistung	P _D	kW	836.04
----------------	----------------	----	--------

Propeller Nr.			0
Prop.durchmesser	Dp	m	1.2996
Profillänge	C. 07R	m	0.000
Drehrichtung	über oben nach innen		

Düse Nr.			-
Ruder Nr.			R 835

Reibungsabzug nach ITTC-1957			
	CA		0.0002
Wassertemperatur	tw	°C	15.6
Dichte Wasser	rho	kg/m³	998.9
kin. Zähigkeit	nue	m²/s	1.1213E-06

Prop.-Scale-Effect	m _P		0.899
Düs.-Scale-Effect	m _D		0.964
Scale-Effect	m		0.866

Ergebnisse der Großausführung

Hauptgrößen

Versuch Nr.	V	Fn	Fn _h	P _D ohne Scale- Effect	P _D mit Scale- Effect	T gesamt	n mittlere	Trimm	Abs.
	[km/h]	[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kN]	[1/min]	[1/60°]	[m]
30501	17.98	0.215	0.582	125	108	18.32	302.1	4.80	0.07
30502	20.02	0.239	0.648	182	157	24.02	341.7	5.02	0.10
30503	21.99	0.263	0.712	267	231	31.14	383.3	3.48	0.15
30504	24.00	0.287	0.777	373	323	40.17	427.1	2.39	0.22
30505	25.05	0.300	0.811	445	385	45.96	450.5	3.10	0.28
30506	26.03	0.311	0.843	778	674	67.43	511.6	-50.00	0.49
0	0.00	0.000	0.000	0	0	0.00	0.0	0.00	0.00

Versuchsergebnisse:

Propulsionsversuch

Auftrag-Nummer	2373
Kennwort	FGS-Stoppen
Modell-Nummer	1761
Datum	01.12.2004
Versuchs-Nr	43204

Maßstab	lam		10.83
Länge	Lwl	m	54.99
Breite	B	m	8.80
Vers.tiefgang	T	m	1.55
Verdrängung	Vol	m³	307
Oberfläche	S	m²	413
Wassertiefe	h	m	11.62

Gesamtleistung	P _D	kW	305.16
----------------	----------------	----	--------

Propeller Nr.			P52r/l
Prop.durchmesser	Dp	m	1.083
Profillänge	C_07R	m	0.000
Drehrichtung	über oben nach innen		

Düse Nr.	-
Ruder Nr.	R 838

Reibungsabzug nach ITTC-1957

CA		0.0002
Wassertemperatur	tw	°C
Dichte Wasser	rho	kg/m³
kin. Zähigkeit	nue	m²/s

1.1098E-06

Prop.-Scale-Effect	m _p	0.860
Düs.-Scale-Effect	m _D	0.948
Scale-Effect	m	0.816

Ergebnisse der Großausführung

Hauptgrößen

Versuch Nr.	V	Fn	Fnh	P _D ohne Scale- Effect	P _D mit Scale- Effect	T gesamt	n mittlere	Trimm	Abs.
	[km/h]	[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kN]	[1/min]	[1/60°]	[m]
4320404	16.01	0.191	0.416	65	53	12.89	259.7	-1.49	0.04
4320401	18.01	0.215	0.469	103	84	17.15	296.6	-1.80	0.05
4320402	20.03	0.240	0.521	147	120	22.15	333.8	-2.29	0.06
4320403	22.02	0.263	0.573	208	170	27.67	370.3	-3.42	0.09
4320405	23.00	0.275	0.598	256	209	30.88	388.9	-3.88	0.11
4320406	23.99	0.287	0.624	312	255	35.41	411.4	-4.97	0.14
4320407	26.04	0.311	0.678	426	348	43.43	451.0	-6.48	0.18
4320408	27.97	0.335	0.728	562	458	53.29	491.1	-8.62	0.24
4320409	29.97	0.358	0.780	905	738	69.77	544.6	-13.65	0.38

Ergebnistabelle: Stoppversuche mit programmiertem Ablauf														
					Modellwerte:						Schiffswerte:			
Versuch	Messun	Umsteuerzeit (Schiff)	Ruder	Blech	vi	ni		Bem.	Stopp- weg	Stopp- zeit	Umsteu- erzeit	vi	Dreh- zahl	Stopp- weg
											sec	km/h	1/min	m
Gruppe 8	mess119	50	65°nach außen, /0°	ohne	2.53	27	Trimm achterlich		19.08	14.43	50	30	492	207
	mess117	50	65°nach außen, /0°	ohne	2.53	27	Trimm achterlich		19.5	14.4	50	30	492	211
	mess118	50	65°nach außen, /0°	ohne	2.53	27	Trimm achterlich		19.6	15.11	50	30	492	212
Gruppe 7	mess114	50	ohne	ohne	2.53	27	Trimm achterlich		20.42	15.3	50	30	492	221
Gruppe 7	mess115	50	ohne	ohne	2.53	27	Trimm achterlich		21.15	16.11	50	30	492	229
Gruppe 7	mess116	50	ohne	ohne	2.53	27	Trimm achterlich		21.39	16.87	50	30	492	232
	mess124	25	60°nach außen, /0°	ohne	2.53	27			20.32	17.15	25	30	492	220
	mess125	25	60°nach außen, /0°	ohne	2.53	27			20.95	16.9	25	30	492	227
	mess122	50	65°nach außen, /0°	ohne	2.53	27			20.2	15.65	50	30	492	219
	mess120	50	65°nach außen, /0°	ohne	2.53	27			20.6	16.13	50	30	492	223
	mess121	50	65°nach außen, /0°	ohne	2.53	27			20.66	16.11	50	30	492	224
	Mess055	15	65°nach innen, /0°	ohne	2.53	27			21.2	17.78	15	30	492	230
	Mess054	15	65°nach innen, /0°	ohne	2.53	27			21.46	17.94	15	30	492	232
	Mess053	15	65°nach innen, /0°	ohne	2.53	27			21.5	17.6	15	30	492	233
	Mess045	15	90° nach innen	ohne	2.53	27			21.68	17.8	15	30	492	235
	Mess042	15	90° nach innen	ohne	2.53	27			22.42	17.71	15	30	492	243
	Mess041	15	90° nach innen	ohne	2.53	27			22.59	18.9	15	30	492	245
	Mess040	15	90° nach innen	ohne	2.53	27			23.15	20.23	15	30	492	251

Ergebnistabelle: Stoppversuche mit programmiertem Ablauf														
Versuch	Messun	Umsteuerzeit (Schiff)	Ruder	Blech	Modellwerte:			Bem.	Stopp- weg	Stopp- zeit	Schiffswerte:			
					vi	ni					Umsteu- erzeit	vi	Dreh- zahl	Stopp- weg
											sec	km/h	1/min	m
Gruppe 5	mess106	25	ohne	ohne	2.53	27			21.12	16.9	25	30	492	229
V1	Mess032	15	ohne	ohne	2.53	27			21.74	16.9	15	30	492	235
	Mess056	15	ohne	ohne	2.53	27			21.77	17.67	15	30	492	236
Gruppe 5	mess107	25	ohne	ohne	2.53	27			21.85	17.23	25	30	492	237
	Mess057	15	ohne	ohne	2.53	27			22.35	18.09	15	30	492	242
V1	Mess034	15	ohne	ohne	2.53	27			22.38	18.23	15	30	492	242
Gruppe 4	mess103	30	ohne	ohne	2.53	27			22.68	17.6	30	30	492	246
Gruppe 6	mess111	50	ohne	ohne	2.53	27			22.69	18.16	50	30	492	246
Gruppe 6	mess113	50	ohne	ohne	2.53	27			22.8	18.1	50	30	492	247
Gruppe 4	mess104	30	ohne	ohne	2.53	27			22.81	18.46	30	30	492	247
V1	Mess036	15	ohne	ohne	2.53	27			22.83	18.12	15	30	492	247
Gruppe 6	mess110	50	ohne	ohne	2.53	27			22.85	17.77	50	30	492	247
Gruppe 4	Mess102	30	ohne	ohne	2.53	27			23.23	18.8	30	30	492	252
Gruppe 6	mess112	50	ohne	ohne	2.53	27			23.34	19.15	50	30	492	253
Gruppe 2	Mess059	15	ohne	mit	2.53	27			19.89	16.89	15	30	492	215
Gruppe 2	Mess058	15	ohne	mit	2.53	27			20.23	16.59	15	30	492	219
Gruppe 2	Mess060	15	ohne	mit	2.53	27			20.68	16.85	15	30	492	224
	Mess062	15	65°nach innen, /0°	mit	2.53	27			19.49	16.59	15	30	492	211
	Mess061	15	65°nach innen, /0°	mit	2.53	27			19.85	16.75	15	30	492	215
	Mess063	15	65°nach innen, /0°	mit	2.53	27			20.17	17.12	15	30	492	218
Gruppe 3	Mess065	15	65°nach außen, /0°	mit	2.53	27			20.07	15.89	15	30	492	217
Gruppe 3	Mess067	15	65°nach außen, /0°	mit	2.53	27			20.14	17.1	15	30	492	218
Gruppe 3	Mess068#25	15	65°nach außen, /0°	mit	2.53	27			20.22	16.72	15	30	492	219
Gruppe 3	Mess068	15	65°nach außen, /0°	mit	2.53	27			20.39	17.09	15	30	492	221

Ergebnistabelle: Stoppversuche mit programmiertem Ablauf															
					Modellwerte:						Schiffswerte:				
Versuch	Messun	Umsteuerzeit (Schiff)	Ruder	Blech	vi	ni		Bem.	Stopp- weg	Stopp- zeit	Umsteu- erzeit	vi	Dreh- zahl	Stopp- weg	
											sec	km/h	1/min	m	
	mess126		60°nach außen, /0°	ohne	2.53	ohne	Auslaufversuch ohen Propeller								
	Mess072	15	65°nach außen, /0°	mit	2.03	23			15.87	15.82	15	24	419	172	
	Mess077	15	65°nach außen, /0°	ohne	2.03	23			16.08	17.03	15	24	419	174	
	Mess071	15	65°nach außen, /0°	mit	2.03	23			16.24	15.55	15	24	419	176	
	Mess070	15	65°nach außen, /0°	mit	2.03	23			16.4	15.34	15	24	419	178	
	Mess079	15	65°nach außen, /0°	ohne	2.03	23			17.31	16.46	15	24	419	187	
	Mess085	15	65°nach innen, /0°	ohne	2.03	23			17.36	16.35	15	24	419	188	
	Mess078	15	65°nach außen, /0°	ohne	2.03	23			17.55	16.8	15	24	419	190	
	Mess086	15	ohne	ohne	2.03	23			17.75	17.16	15	24	419	192	
	Mess084	15	65°nach innen, /0°	ohne	2.03	23			17.78	17.09	15	24	419	193	
	Mess082	15	65°nach innen, /0°	ohne	2.03	23			17.84	17.15	15	24	419	193	
	Mess088	15	ohne	ohne	2.03	23			17.94	17.03	15	24	419	194	
	Mess087	15	ohne	ohne	2.03	23			18.07	16.97	15	24	419	196	

mess126

Umsteuerzeit (Schiff)
Ruder ohne
Blech ohne
Bemerkung

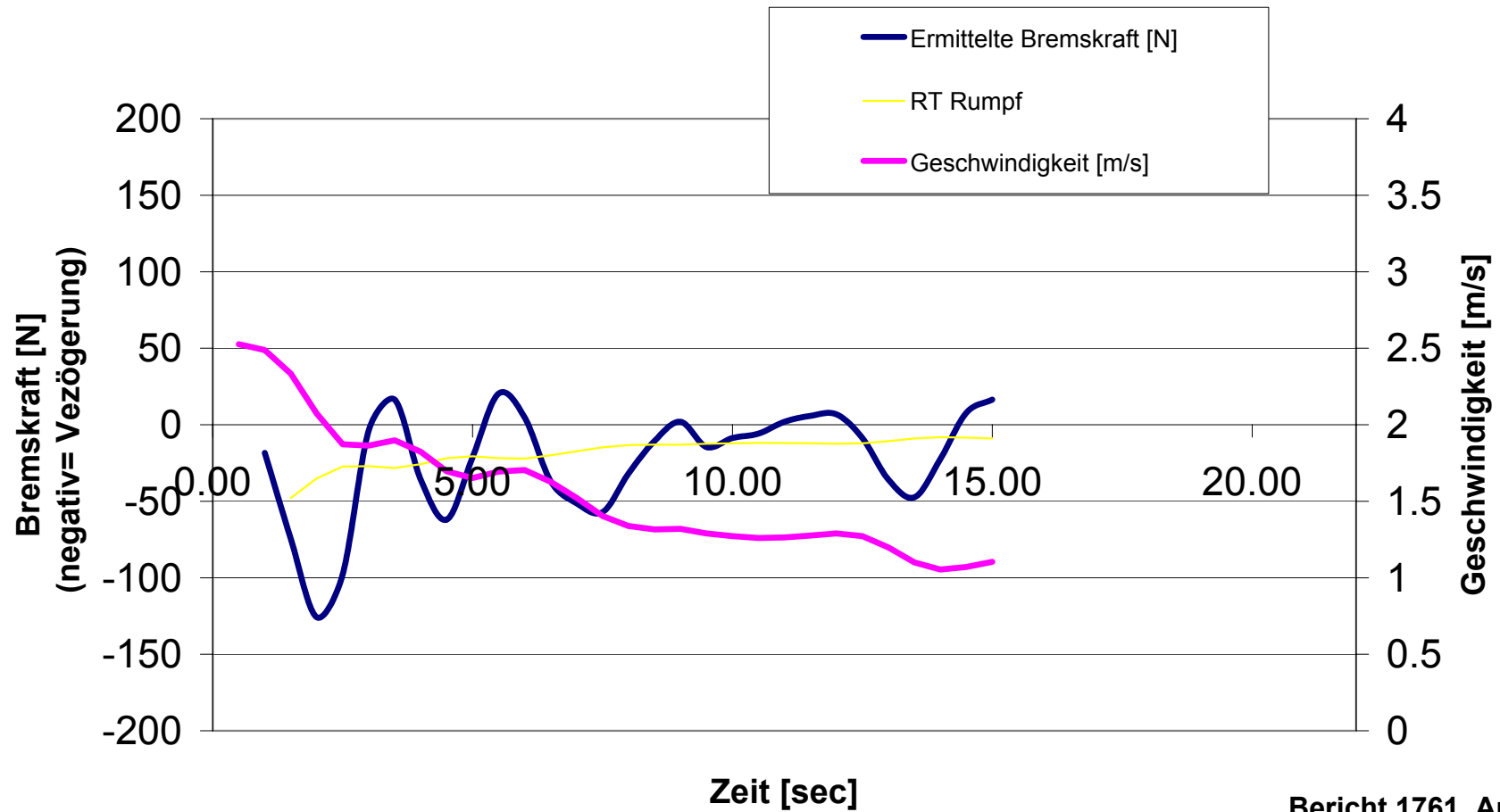
0

vi

ni

2.53 ohne

Auslaufversuch ohne Propeller



Bericht 1761, Anlage E1

mess114

Umsteuerzeit (Schiff)
Ruder ohne
Blech ohne
Bemerkung

50

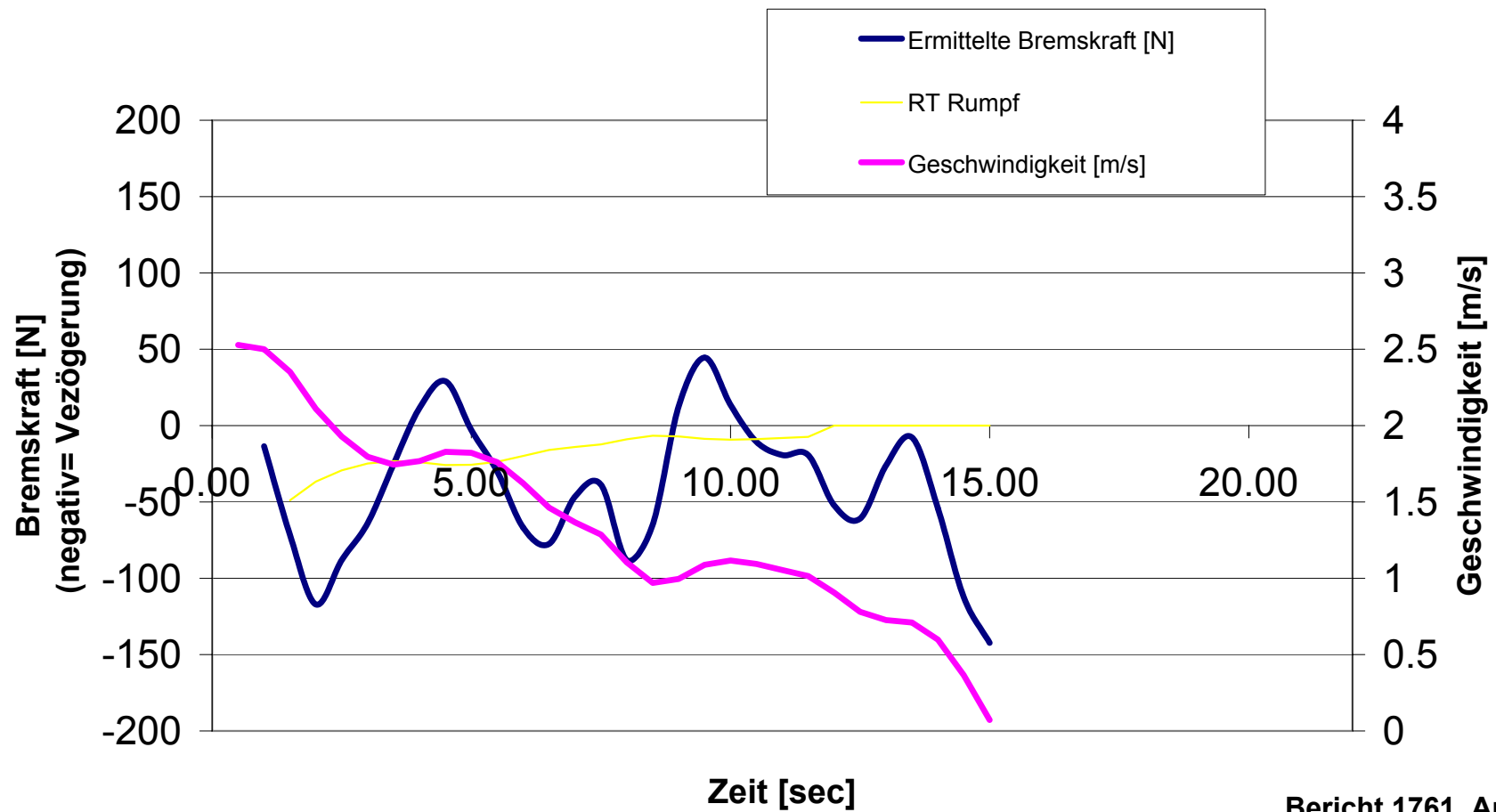
vi

ni

2.53

27

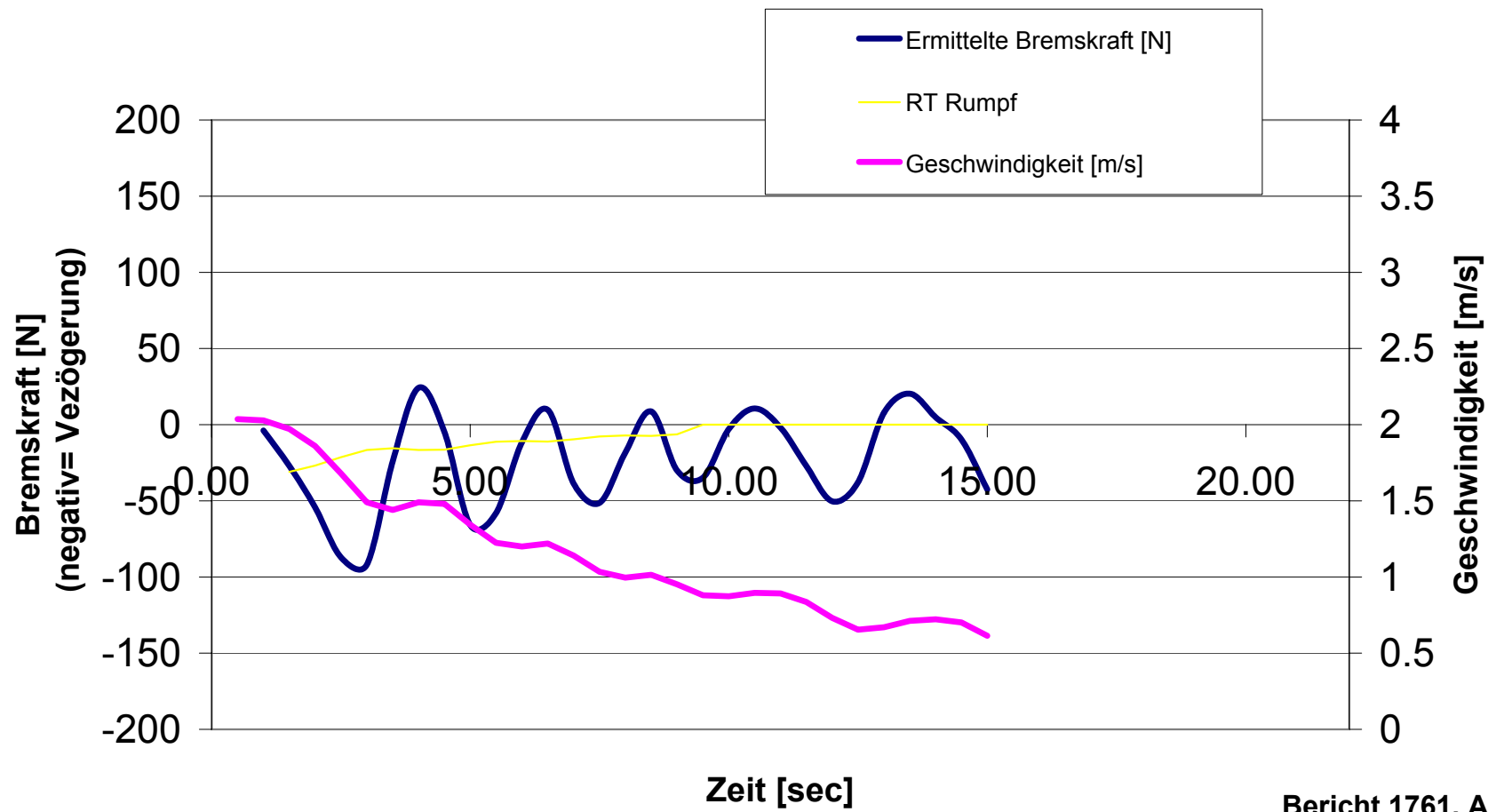
Trimm achterlich



Bericht 1761, Anlage E2

Mess077

Umsteuerzeit (Schiff)	15	vi	ni
Ruder	65°nach außen, /0°		
Blech	ohne	2.03	23
Bemerkung	0		



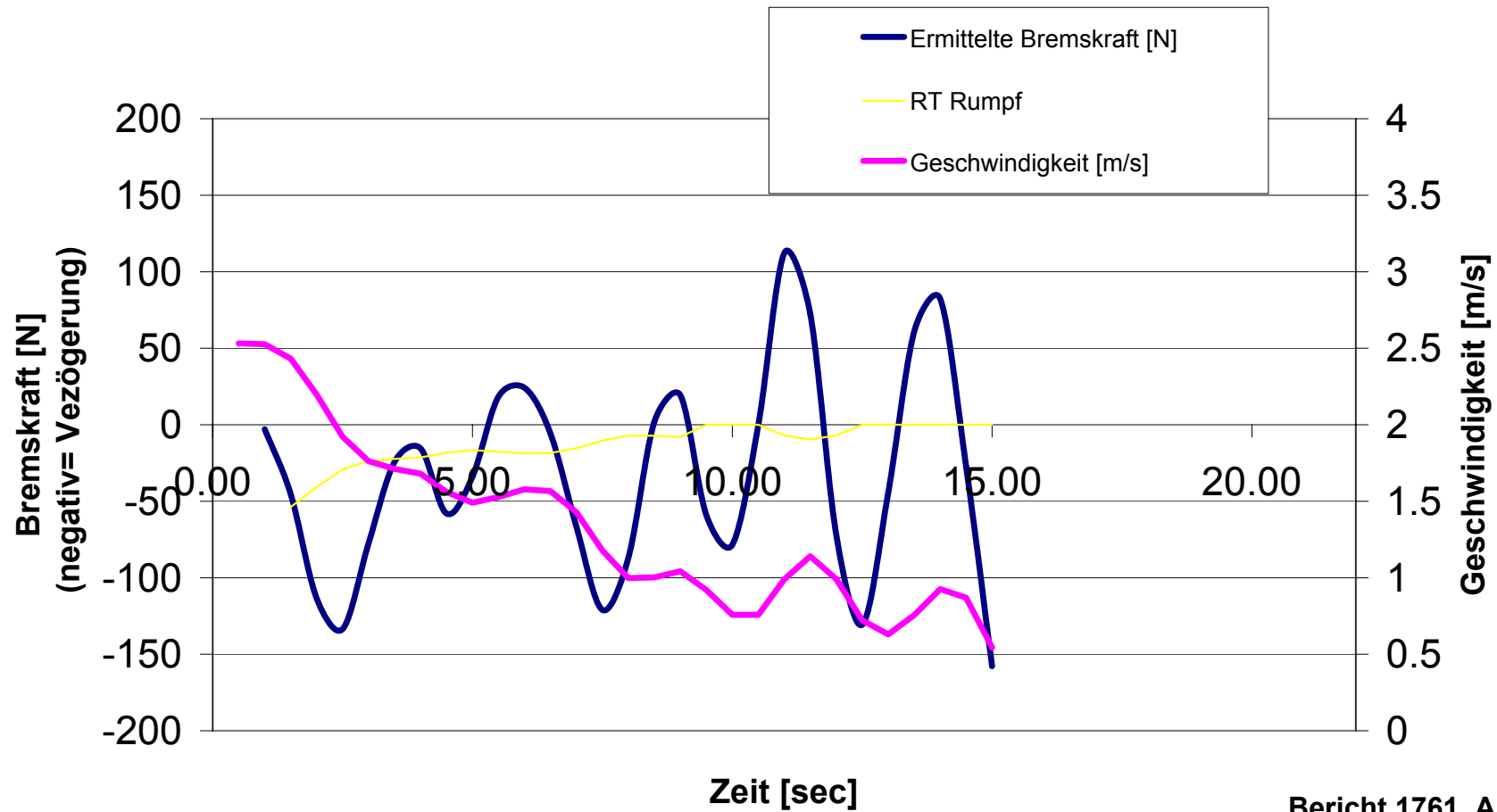
Mess058

Umsteuerzeit (Schiff)
Ruder ohne
Blech mit
Bemerkung

15
0

vi
2.53

ni
27



	Schiffs- oder Verbandsgröße L x B	Einzuhaltende Drehgeschwindigkeit $r_1 = r_3$ [°/min]		Einzuhaltende Grenzwerte für den Zeitbedarf t_4 [s] in flachem und tiefem Wasser		
		$\delta = 20^\circ$	$\delta = 45^\circ$	$1,2 \leq h/T \leq 1,4$	$1,4 < h/T \leq 2$	$h/T > 2$
1	Alle Motorschiffe; einspurige Schiffsverbände $\leq 110 \times 11,45$	20°/min	28°/min	150 s	110 s	110 s
2	Einspurige Schiffsverbände bis $193 \times 11,45$ oder zweispurige Schiffsverbände bis $110 \times 22,90$	12°/min	18°/min	180 s	130 s	110 s
3	Zweispurige Schiffsverbände $\leq 193 \times 22,90$	8°/min	12°/min	180 s	130 s	110 s
4	Zweispurige Schiffsverbände bis $270 \times 22,90$ oder dreispurige Schiffsverbände bis $193 \times 34,35$	6°/min	8°/min	*)	*)	*)

*) nach Festlegung des nautischen Sachverständigen

Der Zeitbedarf t_1 , t_2 , t_3 und t_4 für das Erreichen der Drehgeschwindigkeit r_1 , r_2 , r_3 und r_4 ist im Meßprotokoll nach Anlage 2 zu vermerken. Die Werte t_4 dürfen die in der Tabelle festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten.

2.3 Es sind mindestens 4 Ausweichmanöver durchzuführen und zwar je ein Ausweichmanöver

- nach Steuerbord mit einem Ruderwinkel $\delta = 20^\circ$
- nach Backbord mit einem Ruderwinkel $\delta = 20^\circ$
- nach Steuerbord mit einem Ruderwinkel $\delta = 45^\circ$
- nach Backbord mit einem Ruderwinkel $\delta = 45^\circ$

Bei Bedarf (z. B. bei Unsicherheit über die Meßwerte oder unbefriedigendem Verlauf) sind die Ausweichmanöver zu wiederholen. Die nach 2.2 vorgegebenen Drehgeschwindigkeiten und Grenzwerte für den Zeitbedarf müssen eingehalten werden. Für aktive Steuereinrichtungen oder besondere Ruderbauarten sind die Stellung des Steuerorgans δ_a oder der Ruderwinkel δ_a gegebenenfalls im Ermessen des Sachverständigen unter Berücksichtigung der Bauart der Steuereinrichtung abweichend von $\delta = 20^\circ$ und $\delta = 45^\circ$ festzulegen.

2.4 Für die Feststellung der Drehgeschwindigkeit muß sich an Bord ein Wendeanzeiger befinden, der den Vorschriften betreffend die Mindestanforderungen und Prüfbedingungen für Wendeanzeiger in der Rheinschiffahrt entspricht.

2.5 Der Ladungszustand beim Ausweichmanöver soll nach § 5.04 möglichst 70 bis 100 % der maximalen Tragfähigkeit betragen. Wird die Probefahrt mit geringerer Beladung durchgeführt, ist die Zulassung für die Talfahrt und für die Bergfahrt auf diese Beladung zu beschränken.

Der Ablauf der Ausweichmanöver und die verwendeten Bezeichnungen können der schematischen Darstellung der Anlage 1 entnommen werden.

3. Wendeeigenschaften

Die Wendeeigenschaften von Schiffen und Verbänden mit L von nicht mehr als 86 m und B von nicht mehr als 22,90 m sind ausreichend im Sinne des § 5.10 i. V. m. § 5.02 Nr. 1, wenn bei einem Aufdrehmanöver mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 13 km/h gegen Wasser die Grenzwerte für das Anhalten Bug zu Tal nach der Richtlinie Nr. 2 eingehalten wurden. Dabei sind die Flottwasserbedingungen nach 1.1 einzuhalten.

4. Sonstige Anforderungen

4.1 Unabhängig von den Anforderungen nach Nr. 1 bis 3 muß

- a) bei Steuereinrichtungen mit Handantrieb eine Umdrehung des Handsterrades mindestens 3° Ruderausschlag entsprechen und
- b) bei Steuereinrichtungen mit motorischem Antrieb bei größter Eintauchung des Ruders eine mittlere Winkelgeschwindigkeit des Ruders von 4° pro Sekunde über den gesamten Bereich des möglichen Ruderausschlages erreicht werden können.

Diese Anforderung ist auch bei voller Schiffsgeschwindigkeit bei einer Ruderbewegung über den Bereich von 35° Backbord nach 35° Steuerbord zu prüfen. Außerdem ist zu prüfen, ob das Ruder bei voller Antriebsleistung die äußerste Stellung beibehält. Bei aktiven Steuereinrichtungen oder besonderen Ruderbauarten ist diese Bestimmung sinngemäß anzuwenden.

- 4.2. Sind zum Erreichen der Manövriereigenschaften zusätzliche Einrichtungen nach § 5.05 erforderlich, müssen diese den Anforderungen des Kapitels 6 entsprechen und unter Nummer 52 des Schiffsattestes ist folgender Vermerk einzutragen:

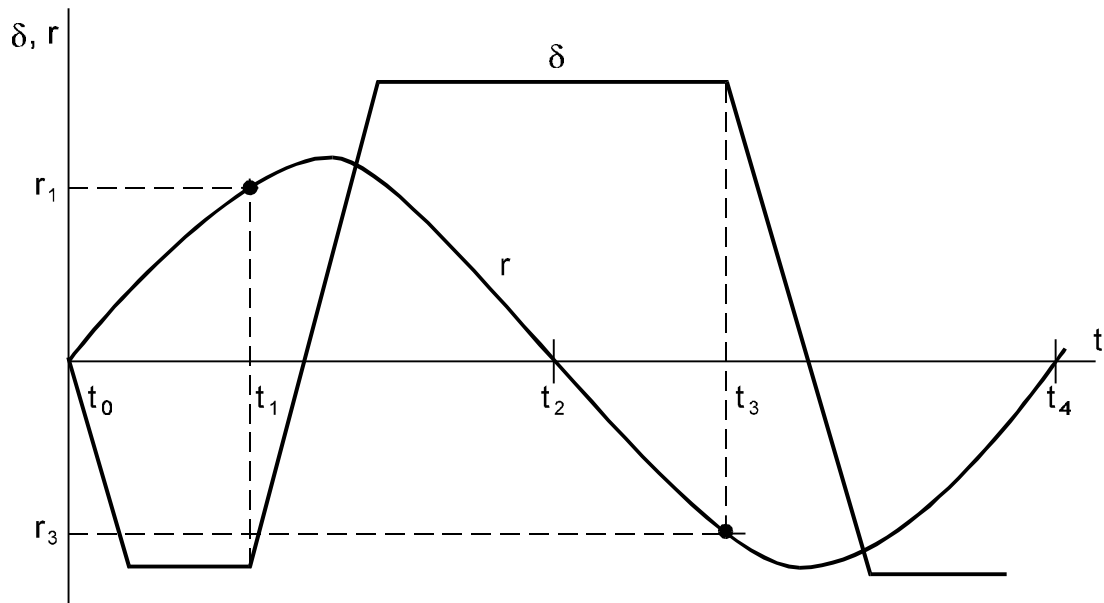
"Die unter Nummer 34 genannten Flankenruder*/Bugsteuereinrichtungen*/andere Einrichtungen* ist*/sind* zum Erreichen der Manövriereigenschaften nach Kapitel 5 erforderlich."

* nicht zutreffendes streichen

5. Aufnahme der Meßwerte und Protokollierung

Messung, Protokollierung und Aufzeichnung der Versuchsdaten sind nach dem in Anlage 2 beschriebenen Verfahren durchzuführen.

Schematische Darstellung des Ausweichmanövers



- t_0 = Beginn des Ausweichmanövers
 - t_1 = Zeitpunkt bei Erreichen der Drehgeschwindigkeit r_1
 - t_2 = Zeitpunkt bei Erreichen der Drehgeschwindigkeit $r_2 = 0$
 - t_3 = Zeitpunkt bei Erreichen der Drehgeschwindigkeit r_3
 - t_4 = Zeitpunkt bei Erreichen der Drehgeschwindigkeit $r_4 = 0$ (Ende des Ausweichmanövers).
-
- δ = Ruderwinkel [°]
 - r = Drehgeschwindigkeit [°/min]

**RICHTLINIE Nr. 2 für die UNTERSUCHUNGSKOMMISSIONEN
nach § 1.07 RheinSchUO**

**Anforderungen an Mindestgeschwindigkeit, Stoppeigenschaften
und Rückwärtsfahreigenschaften**

(§§ 5.06, 5.07 und 5.08 i.V.m. §§ 5.02 Nr. 1, 5.03 Nr. 1, 5.04, 16.06)

1. Mindestgeschwindigkeit nach § 5.06

Die Geschwindigkeit gegen Wasser ist ausreichend im Sinne des § 5.06 Nr. 1, wenn sie mindestens 13 km/h beträgt. Dabei müssen, wie bei der Feststellung der Stoppeigenschaften:

- a) die Bedingungen für die Flottwassertiefe nach 2.1 eingehalten werden
- b) Messung, Protokollierung, Aufzeichnung und Auswertung der Versuchsdaten durchgeführt werden.

2. Stoppeigenschaften und Rückwärtsfahreigenschaften nach §§ 5.07 und 5.08

2.1 Schiffe und Verbände können rechtzeitig Bug zu Tal anhalten im Sinne des § 5.07 Nr. 1, wenn das Anhalten Bug zu Tal gegen Grund bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 13 km/h gegen Wasser, einer Flottwassertiefe von mindestens 20 % des Tiefgangs, mindestens jedoch 0,50 m, nachgewiesen wird. Dabei sind folgende Grenzwerte einzuhalten:

- a) In strömenden Gewässern (bei Strömungsgeschwindigkeit 1,5 m/s) muß der Stillstand gegen Wasser auf einer Strecke, gemessen gegen Land, von höchstens:

550 m bei Schiffen und Verbänden mit einer

- Länge $L > 110 \text{ m}$ oder
- Breite $B > 11,45 \text{ m}$

oder

480 m bei Schiffen und Verbänden mit einer

- Länge $L \leq 110 \text{ m}$ und
- Breite $B \leq 11,45 \text{ m}$

erreicht werden. Das Stoppmanöver endet bei Stillstand gegen Land.

- b) In stillen Gewässern (Strömungsgeschwindigkeit kleiner als 0,2 m/s) muß der Stillstand gegen Wasser auf einer Strecke, gemessen gegen Land, von höchstens:

350 m bei Schiffen und Verbänden mit einer

- Länge $L > 110 \text{ m}$ oder
- Breite $B > 11,45 \text{ m}$

oder

305 m bei Schiffen und Verbänden mit einer

- Länge $L \leq 110 \text{ m}$ und
- Breite $B \leq 11,45 \text{ m}$

erreicht werden. Außerdem sind in stillen Gewässern zusätzlich die Rückwärtsfahreigenschaften durch einen Rückwärtsfahrversuch nachzuweisen. Dabei muß bei Rückwärtsfahrt eine Geschwindigkeit von mindestens 6,5 km/h erreicht werden.

Messung, Protokollierung und Aufzeichnung von Versuchsdaten nach a) oder b) sind nach dem in Anlage 1 beschriebenen Verfahren durchzuführen.

Während des gesamten Versuchs muß das Schiff oder der Verband ausreichend manövrierfähig bleiben.

- 2.2 Der Beladungszustand beim Versuch soll nach § 5.04 möglichst 70 - 100 % der maximalen Tragfähigkeit betragen. Dieser Beladungszustand ist gemäß Anlage 2 zu bewerten. Hat das Schiff oder der Verband beim Versuch eine geringere Beladung als 70 %, ist die zugelassene Verdrängung für die Talfahrt entsprechend der vorhandenen Beladung festzulegen, sofern die Grenzwerte gemäß 2.1 eingehalten werden.

- 2.3 Entsprechen beim Versuch die tatsächlichen Werte der Anfangsgeschwindigkeit und der Strömungsgeschwindigkeit nicht den in Nummer 2.1 festgelegten Voraussetzungen, sind die erhaltenen Ergebnisse nach dem in Anlage 2 beschriebenen Verfahren zu bewerten.

Die Abweichung von der vorgegebenen Anfangsgeschwindigkeit von 13 km/h darf höchstens ± 1 km/h betragen, im strömenden Wasser muß die Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1,3 und 2,2 m/s betragen, andernfalls sind die Versuche zu wiederholen.

- 2.4 Die höchste in der Talfahrt zugelassene Verdrängung oder die sich daraus ergebende größte Beladung oder der maximale eingetauchte Querschnitt der Schiffe und Verbände ist auf der Grundlage der Versuche festzulegen und in das Schiffsattest einzutragen.