



**Schlussbericht zum FuE-Vorhaben
„Entwurf von propulsionsverbessernden Maßnahmen (Energy
Saving Devices) bei Betriebsbedingungen
(ESD@SEA)“**

**Teilvorhaben
„Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von
propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen
(ESD@SHIP)“**

Bericht 5053

Potsdam, März 2021

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
<p style="text-align: center;">3. Titel</p> <p style="text-align: center;">„Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“</p> <p style="text-align: center;">Teilvorhaben zum FuE-Vorhaben</p> <p style="text-align: center;">„Entwurf von propulsionsverbessernden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen (ESD@SEA)“</p>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]	5. Abschlussdatum des Vorhabens
Grabert, Rainer	31.09.2020
	6. Veröffentlichungsdatum
	31.03.2021
	7. Form der Publikation
	Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH Marquardter Chaussee 100 14469 Potsdam	5053
	10. Förderkennzeichen
	03SX436C
	11. Seitenzahl
	38
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)	13. Literaturangaben
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	37
Projektträger Jülich Forschungszentrum Jülich GmbH Postfach 61 02 47 10923 Berlin	14. Tabellen
	10
	15. Abbildungen
	21
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
<p>18. Kurzfassung</p> <p>Ziel des vorliegenden Vorhabens war es, die Wirkungsweise von bestimmten Energy Saving Devices (ESDs) zur Leistungsreduzierung bei Schiffen über die zur Auslegung vorgegebenen Designbedingungen hinaus für realistische Betriebsbedingungen zu analysieren und diese Erkenntnisse zur Produktverbesserung mit Hinblick auf den realen Schiffsbetrieb zu nutzen. In einem ersten Schritt wurden ESDs, die für Designbedingungen optimiert wurden, unter Betriebsbedingungen getestet. Die Betriebsbedingungen sind definiert durch bestimmte Ruder- und Gierwinkel, wie sie sich aus den Umweltbedingungen wie Wind, Wellen und Strömung ergeben. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden dafür genutzt, die ESDs auf die realen Betriebsbedingungen anzupassen.</p> <p>Am Beispiel eines Containerschiffes und eines Massengutfrachters wurden die verschiedenen ESDs mittels Modellversuchen bei unterschiedlichen Betriebszuständen untersucht und bewertet.</p>	
19. Schlagwörter	
Flossenruder, Modellversuch, Nabenkappenflossen, Propulsionsverbessernde Maßnahmen, Zuströmdüse	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Report
3. title „Ship Optimization Taking Into Account Energy Saving Devices Under Operating Conditions (ESD@SHIP)“ Subproject to the R&D project „Design of Energy Saving Devices Under Operating Conditions (ESD@SEA)“	
4. author(s) (family name, first name(s)) Grabert, Rainer	5. end of project 31.09.2020
	6. publication date 31.03.2021
	7. form of publication report
8. performing organization(s) (name, address) Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH Marquardter Chaussee 100 14469 Potsdam	9. originator's report no. 5053
	10. reference no. 03SX436C
	11. no. of pages 38
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Projektträges Jülich Forschungszentrum Jülich GmbH Postfach 61 02 47 10923 Berlin	13. no. of references 37
	14. no. of tables 10
	15. no. of figures 21
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Boss cap fins, energy saving devices, fin rudder, model test, wake equalizing duct	
18. abstract The aim of the present project was to analyse the effectiveness of certain energy saving devices (ESDs) for reducing the power demand of ships in off-design conditions and to use this knowledge to improve the different energy saving methods with regard to real ship operation. In a first step, ESDs that were optimized for design conditions were tested under operating conditions. The operating conditions are defined by certain rudder and yaw angles as they result from environmental conditions such as wind, waves and currents. The knowledge gained from these investigations was used to adapt the ESDs to the real operating conditions. Using of a container ship and a bulk carrier for example, the various ESDs were investigated and evaluated by means of model tests under different operating conditions.	
19. keywords	
20. publisher	21. price

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Schlussbericht für das Forschungsvorhaben 03SX436C

Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH

Schlussbericht für das Forschungsvorhaben 2075

„Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

Teilvorhaben zum FuE-Vorhaben

„Entwurf von propulsionsverbessernden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen (ESD@SEA)“

„Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen“

von

Dipl.-Ing. Rainer Grabert

Beteiligte Forschungseinrichtung

Van der Velden Barkemeyer GmbH (VDVB) Koordinator

Wendenstraße 130
20537 Hamburg
M.Sc. Farhan Matin, Tel.: 040 71180-220
fmatin@vdvms.com

Mecklenburger Metallguss GmbH (MMG)

Teterower Str. 1
17192 Waren
Dr.-Ing. Lars Greitsch, Tel.: 03991 736225
greitsch@mmg-propeller.de

Technische Universität Hamburg (TUHH)

Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit
Am Schwarzenberg-Campus 4
21073 Hamburg
Prof. Dr.-Ing. Stefan Krüger, Tel.: 040 42878-6105
krueger@tu-harburg.de

Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH (SVA)

Marquardter Chaussee 100
14469 Potsdam
Dipl.- Ing. Rainer Grabert, Tel.: 0331 56712-12
grabert@sva-potsdam.de

„Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen“

Schlussbericht für das Forschungsvorhaben 2075

„Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

Teilvorhaben zum FuE-Vorhaben

„Entwurf von propulsionsverbessernden Maßnahmen (Energy Sving Devices) bei Betriebsbedingungen (ESD@SEA)“

Die Durchführung des Forschungsvorhabens in der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH wurde dankenswerterweise vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie durch die Bereitstellung von Fördermitteln ermöglicht.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der SVA wurden im Rahmen des Vorhabens im Zeitraum 01.06.2017 bis 31.09.2020 realisiert.



Dipl.-Ing. Rainer Grabert
Projektleiter



Dr.-Ing. Christian Masilge
Geschäftsführer

Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH

März 2021

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Kurzdarstellung	5
I.1. Aufgabenstellung	5
I.2. Voraussetzungen	8
I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens	9
I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	11
I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	18
II. Eingehende Darstellung	18
II.1. Ergebnisse des FuE-Vorhabens.....	18
II.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	35
II.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	35
II.4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse	35
II.5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	36
II.6. Erfolge und geplante Veröffentlichungen	36

I. Kurzdarstellung

I.1. Aufgabenstellung

Die Ziele des vorliegenden Vorhabens liegen in der Analyse der Betriebsbedingungen des realen Schiffsbetriebs und den daraus abgeleiteten Rahmenbedingungen für die Schiffsformentwicklung von Schiffen mit ESDs für reale Betriebsprofile. Zwischenschritte zum Erreichen dieses Zieles sind die Definition einer möglichst allgemein verwendbaren Standard-Untersuchungsmatrix, die Auswahl von zwei Basis-Schiffsgeometrien, die Entwicklung der notwendigen Messtechnik zur Bestimmung aller für den Entwurf notwendigen Wechselwirkungsparameter, die Methodenentwicklung zur Optimierung der Schiffslinien, die Optimierung und die Validierung der Ergebnisse zur Leistungseinsparung der im Optimierungsprozess entwickelten Schiffformen und EDSs.

Die Arbeitsziele der SVA Potsdam können in folgende Etappen unterteilt werden:

- Entwicklung einer Standard-Untersuchungsmatrix zur Bestimmung des realen Leistungsbedarfs von Schiffen unter realen Betriebsbedingungen.
- Entwicklung und Beschreibung von Messsystemen zur Messung von Kräften an ESDs und der Bestimmung von Wechselwirkungen zwischen Schiff und ESD im Modellmaßstab.
- Schiffsformentwicklung unter Berücksichtigung von ESDs und Off-Design-Betriebszuständen. Optimierung auf Grundlage der Untersuchungsmatrix und der bestimmten Wechselwirkungsparameter.

Im Ergebnis steht der SVA Potsdam die Messtechnik, die Verfahren und das Know-How zur Verfügung, um auf Basis von gegebenen Betriebsbedingungen den realen Leistungsbedarf von Schiffen zu bestimmen und auf Basis dieses Wissens die Schiffsform unter Berücksichtigung von verwendeten ESDs zu optimieren.

Im Folgenden werden nur die für die SVA relevanten Arbeitsanteile innerhalb der einzelnen Arbeitspakete dargestellt. Der in Klammern genannte Partner ist stets der Koordinator des Arbeitspaketes.

AP 1 Umweltbedingungen und Schiffszustände (TUHH)

1.2 Analyse von Betriebsdaten (TUHH, VDVB, MMG, SVA)

Die SVA arbeitet mit den Partnern an der Aufbereitung, Filterung und Formatierung von vorhandenen Messdaten zusammen.

AP 2 Entwurfzustände (TUHH)

2.4 Gestaltung Untersuchungs- und Versuchsprogramm (SVA, TUHH, MMG, VDVB)

Die SVA gestaltet in Zusammenarbeit mit den Partnern ein Versuchs-/Untersuchungsprogramm. Dieses muss den Ansprüchen hinsichtlich der Schiffszustände, die aus der Häufigkeitsverteilung extrahiert wurden, genügen und der begrenzten Anzahl von möglichen CFD-Berechnungen und Laboruntersuchungen Rechnung tragen. Die SVA bringt dabei Ihre Erfahrung aus ihrer Versuchstätigkeit und ihrem CFD-Pool mit ein.

AP 3 Entwurf der ESDs und der Schiffslinien (VDVB)

3.2 Entwurf der Schiffslinien (SVA)

Für die in AP 2 ausgewählten Schiffstypen werden die Schiffslinien mit den Partnern abgestimmt. Abhängig von der Auswahl, werden die Schiffslinien entweder von der SVA neu entworfen oder vorhandene Schiffslinien werden für die weiteren Untersuchungen und Anpassungen bearbeitet.

AP 4 Fertigung der Labormuster (SVA)

4.1 Entwicklung Messkonzept (SVA, MMG)

Für die Modelluntersuchungen muss im Vorfeld das Messkonzept entwickelt und konstruiert werden. Dabei ist auf eine möglichst genaue Kraftaufnahme an den entsprechenden ESDs zu achten. Dafür ist ein entsprechendes Kraftmessglied zu entwickeln, zu konstruieren und zu fertigen. Ausführung und Umsetzung hängen von den Vorgaben der Projektpartner ab und können in der Antragsphase noch nicht weiter spezifiziert werden. Das Messkonzept wird von der SVA entwickelt.

4.2 Fertigung der ESD- und der Schiffmodelle (SVA)

Die von den Partnern gelieferten Geometrien werden entsprechend dem Messkonzept von der SVA angepasst und gefertigt. Die zu fertigenden Labormodelle werden so konzipiert, dass das Messkonzept und die ESDs problemlos integriert werden können.

AP 5 Laborversuche Basisvarianten (SVA)

5.1 Versuchsplanung (SVA, TUHH, VDVB, MMG)

Die Laborversuche werden von den Partnern gemeinsam geplant. Betriebszustände werden abgestimmt und der Umfang sowie die Reihenfolge für die Teiluntersuchungen definiert. Betriebsbedingte Einflüsse wie Driftwinkel, Ruderwinkel, Trimmwinkel oder auch Zusatzwiderstände durch Bewuchs sind mögliche Parameter für die Definition der Untersuchungsmatrix.

Die detaillierte Ausführung der Laboruntersuchungen mit den einzelnen Komponenten wird in diesem AP festgelegt. So sollen in einigen Versuchen die ESDs kombiniert werden, um deren wechselseitigen Einfluss zu untersuchen.

5.2 Erprobung des Messkonzeptes durch Laborversuche (SVA)

Mit den in AP 4 gefertigten Modellen der ESDs und der Schiffe werden Laborversuche in der Schlepprinne der SVA durchgeführt. Diese sollen zur Erprobung und weiteren Entwicklung der Versuchsprozedur durch Tests und gegebenenfalls der Weiterentwicklung der Kraftmessglieder an den ESDs zur Bestimmung der Wechselwirkungsparameter zwischen ESDs und Schiff als auch zur Validierung der CFD-Berechnungen dienen.

AP 6 Methodenentwicklung Entwurfsverfahren (VDVB)

6.7 Entwicklung einer Optimierungsroutine für die CFD-Berechnungen (SVA, MMG, VDVB)

Um die notwendige Menge an CFD-Berechnungen durchführen zu können, muss die Prozesskette zur numerischen Simulation (CAD-Model, Pre-Processing, Solving, Post-Processing) weitestgehend automatisiert werden. Zusätzlich ist ein automatisierter CFD-Prozess für die spätere Optimierung in AP8 ebenfalls von hoher Bedeutung, wenn verschiedene Entwurfsvarianten verglichen werden sollen. Der Automatisierungsprozess wird für die beiden

Anwendungsfälle soweit möglich von den Partnern gemeinsam entwickelt und von der SVA auf die Optimierung der Schiffslinien angepasst. In Abstimmung mit den Projektpartnern werden darauf aufbauend numerische Berechnungen durchgeführt.

AP 7 Analyse und Validierung der Basisvarianten im Operationsprofil (MMG)

7.1 Anwendung der entwickelten Methodik zu CFD-Berechnungen der ESD-Konfigurationen (VDVB, MMG, SVA)

Die durchgeführten/geplanten Laboruntersuchungen werden entsprechend der entwickelten Methodik numerisch nachgerechnet, um die CFD Verfahren zu validieren und als Entwurfswerkzeug auch für Offdesign Zustände zu qualifizieren. Hierfür wird die aus der Methodenentwicklung abgeleitete, intelligente Auswahl an Betriebszuständen verwendet, da die Menge an untersuchen Zuständen des Laborversuchs mit vertretbarem Aufwand nicht mit CFD-Methoden abgebildet werden kann. Das Interesse der SVA liegt dabei im Besonderen auf der Übertragbarkeit der Modellversuchsergebnisse auf die Großausführung. So werden von ausgewählten Schiffszuständen Berechnungen im Modellmaßstab und im Originalmaßstab realisiert.

7.3 Analyse und Validierung der CFD-Methoden (SVA, MMG, VDVB)

Es wird geprüft, ob der entwickelte Workflow im industriellen Kontext sinnvoll ist oder ob weitere Automatisierungsschritte notwendig sind. Zudem müssen aus den Ergebnissen Handlungsschritte abgeleitet werden, mit denen die Schiffsförm in den betrachteten Betriebsprofilen im Mittel optimiert werden kann. Als Basis für die folgende Optimierungsschleife werden die gewonnenen Daten genutzt, um mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen Dichtefunktionen der Treibstoffverbräuche im Betriebsprofil zu berechnen.

AP 8 Optimierung ESD und der Schiffslinien für das Operationsprofil (TUHH)

8.1 Optimierung der Schiffslinien (SVA)

Aufbauend auf den Analysen aus AP 7 werden die Schiffslinien entsprechend dem Betriebsprofil und den Wechselwirkungsparametern mit den ESDs optimiert und neu entworfen.

AP 9 Validierungsversuche der optimierten Varianten im Operationsprofil (SVA)

9.1 Überarbeitung der Modelle der optimierten ESDs und der Schiffe (SVA)

Die Modelle der optimierten Schiffslinien und der optimierten ESDs werden von der SVA überarbeitet und für die Laboruntersuchungen vorbereitet.

9.2 Validierung der Berechnungen durch Laborversuche (SVA)

Es finden mit den optimierten ESD-Varianten Laborversuche für, mit den Partnern abgestimmten, ausgewählte Betriebspunkte zur Validierung der Optimierungs-berechnungen statt.

AP 10 Finale Analyse und Validierung der optimierten Varianten im Operationsprofil (VDVB)

10.2 CFD-Berechnungen, Analyse und Validierung der optimierten Varianten (VDVB, MMG, SVA)

Für die optimierten Varianten werden abschließend mit Hilfe der weiterentwickelten und erarbeiteten Automatisierungsroutinen die CFD-Berechnungen durchgeführt und die Verbesserungen im Vergleich zu den Basisvarianten der Schiffe analysiert.

10.3 Statistische Bewertung der optimierten Konfigurationen (MMG, VDVB, TUHH, SVA)

Um zu einer Abschließenden Bewertung der optimierten Schiffslinien im Betriebsprofil zu kommen, werden mit den, nach der Optimierungsschleife gewonnen Ergebnissen, erneut Monte-Carlo Simulationen im Betriebsprofil durchgeführt und die so gewonnen Dichtefunktionen der Treibstoffverbräuche den berechneten bzw. gemessenen Dichtefunktionen gegenübergestellt.

I.2. Voraussetzungen

Die SVA beschäftigt sich seit über 50 Jahren mit der Untersuchung von Schiffskörpern. Die Entwicklung und Optimierung von Schiffen mit Anhängen und Propulsionssystemen und die Untersuchung der Wechselwirkung des Propellers mit dem Schiffskörper war und ist ein wesentliches Arbeitsgebiet der SVA. Die SVA arbeitet seit 1994 intensiv auf dem Gebiet der numerischen Strömungsberechnung für maritime Anwendungen und ist als CFD Kompetenzzentrum anerkannt. Das Know-how für die Umströmungsberechnungen des Schiffes mit arbeitendem Propeller unter Einbeziehung aller Anhänge wird im Rahmen des Schiffsentwurfs und der Optimierung regelmäßig für Industrieprojekte eingesetzt. Die SVA verfügt über die Hard- und Software zum Entwurf und zur Nachrechnung von ESDs, sowie über Versuchsanlagen und Messsysteme zur Durchführung von Laboruntersuchungen von Schiffsmodellen mit ESDs.

Auf dem Gebiet der propulsionsverbessernden Maßnahmen (Energy Saving Devices) wurde in der SVA langjährig gearbeitet, wie es die folgenden Veröffentlichungen aus den letzten Jahrzehnten nur beispielhaft verdeutlichen können [1] – [10]. Die Problematik der Wirkungsweise von ESDs wurde von der SVA in zahlreichen Forschungsprojekten untersucht:

Durch systematische numerische Berechnungen im FuE-Vorhaben „CFD als Mittel zur Auslegung von Ruderbirnen“ konnten Hinweise für den Entwurf von Ruderbirnen ermittelt werden [11] – [13]. Ihre Wirkungsweise wurde im Modellversuch und mit CFD-Berechnungen untersucht.

Im FuE-Vorhaben „Erhöhung der Entwurfs- und Prognosesicherheit für Schiffe mit nachstrombeeinflussenden Maßnahmen“ [14] wurden das Zusammenwirken des Propellers mit einer Zustromausgleichsdüse (wake equalizing duct – WED) und mit Vortex Generatoren (VG) untersucht. Im Mittelpunkt der numerischen und experimentellen Arbeiten standen Maßstabseinflüsse sowie die Verbesserung der Prognoseverfahren.

Das vom BMBF geförderte Vorhaben „Steigerung des Propulsionswirkungsgrades und Verminderung der Nabenwirbelkavitation durch verbesserte Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen Propellerstrahl und Ablaufhaube“ [15] wurden Methoden entwickelt, die die Wechselwirkung zwischen Propellerflügeln und Propellernabe berücksichtigt und damit die Gestaltung der Nabe in den Entwurf mit einbeziehen (Propeller Boss Cap Fins).

Im FuE-Vorhaben „Nabenkappenflossen“ [16] wurde eine neue Art von Nabenkappenflossen theoretisch entwickelt und ihre Effektivität in Modellversuchen nachgewiesen.

„Optimierung von Düsenpropellersystemen“ [17] hatte das Ziel der Entwicklung von mathematisch begründeten Optimierungsverfahren auf der Basis von inversen Berechnungsverfahren für den vollständigen Entwurf von Düsenpropellersystemen.

Das SVA-Leitflossensystem zur Vordrallerzeugung wurde in den 80er Jahren in der SVA entwickelt und erfolgreich eingesetzt [18].

I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben war auf eine Gesamtlaufzeit von drei Jahren angelegt. Die zeitliche Planung ist dem Balkenplan aus der Abbildung 1 zu entnehmen. Bei der Bearbeitung kam es zu einer Verzögerung. Zum Ende des Jahres 2019 war der Bearbeitungsstand des 2. Meilensteins erreicht. Es wurde eine kostenneutrale Verlängerung beantragt, und eine Verlängerung bis zum 30.09.2020 bewilligt.

I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Energy Saving Devices (ESD)

Trotz intensiver Optimierung von Schiffen in der Entwurfs- und Konstruktionsphase entstehen Energieverluste, die je nach Fahrprofil und Schiffstyp verschiedene Ursachen haben können. Um diese Energieverluste zu minimieren, werden propulsionsverbessernde Maßnahmen (Energy Saving Devices) an Schiffen eingesetzt. Diese werden zum Großteil am Hinterschiff installiert, da hier das Energieeinsparungspotenzial durch die viskosen Widerstandsverluste und die Verluste am Propulsionsorgan am größten ist. Weltweit gibt es eine Vielzahl von Entwicklungen von Energy Saving Devices (ESDs), die in Abbildung 1 beispielhaft dargestellt sind. Das Energieeinsparpotenzial kann theoretisch bis zu 10 % betragen, wenn der Basisentwurf nicht diesbezüglich optimiert wurde oder wenn es sich um Nachrüstungen handelt.

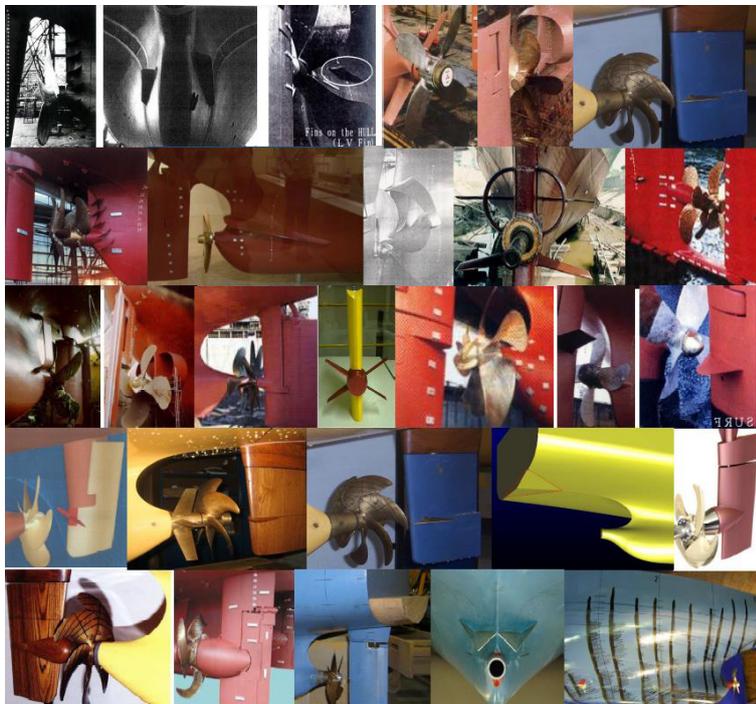


Abbildung 2: Zusammenstellung verschiedener ESDs [19]

Die Wirkungsweise und die Energieeinsparung durch ESDs wurde in zahlreichen Veröffentlichungen dargelegt. Das Design der ESD wird hier oft für einen oder seltener für mehrere Betriebspunkte (Kombinationen von Tiefgang und Schiffsgeschwindigkeit) unter idealen Bedingungen wie Geradeausfahrt, Glattwasser und einem Ruderwinkel von 0° , also bei stationärer Strömung, entwickelt.

Propulsion bei Off-Design-Bedingungen

Es hat sich gezeigt, dass ESDs in der Auslegungsphase eher optimistisch beurteilt werden, da die späteren Betriebspunkte vom Auslegungszustand durch unterschiedliche Trimm- und Ladungszustände, Bewuchs, Wind und Seegang oft erheblich abweichen. Das bedeutet, dass die ESDs im Betrieb oft nicht die Einsparungen bringen, für die sie entworfen wurden. Das bedeutet aber auch, dass ein für den wirklichen Schiffsbetrieb optimiertes ESD anders entworfen werden müsste als ein für einen einzigen Vertragspunkt entwickeltes.

Untersuchungen von Schiffen unter Off-Design-Bedingungen hatte das FuE-Thema Off-Design [20], [21] zum Ziel. Hier wurden Betriebszustände von Schiffen näher untersucht, die real auftreten und

nicht den idealisierten Bedingungen der Auslegungsphase entsprechen. Ausführliche Modellversuche und Großausführungsbeobachtungen in repräsentativ ausgewählten Zuständen gaben einen detaillierten Aufschluss über die hydrodynamischen Reaktionen des Schiffes. Der Einfluss auf die Wirkungsweise von ESDs wurde in diesem Thema jedoch nicht untersucht und somit auch nicht auf die Wechselwirkungsparameter zwischen ESD und Schiff und der daraus resultierenden Möglichkeit, den Schiffsentwurf den realen Betriebszuständen anzupassen.

Der Einfluss von realen Umweltbedingungen auf die Wirkungsweise von Schiffen mit und ohne ESDs ist nur in wenigen, ausgewählten Fällen Untersuchungsgegenstand von Veröffentlichungen. Es wurden nur ausgewählte Umweltbedingungen wie Seegang [22], bzw. das Schiff ohne ESD untersucht [23]. Ob die ESDs die Eigenschaften des Schiffes z.B. das Bewegungsverhalten im Seegang oder die Kurshaltfähigkeit, beeinflussen, wurde nicht betrachtet. Es wurden auch keine Schlussfolgerungen gezogen, wie ein ESD den entsprechenden, herausgearbeiteten Betriebsprofilen anzupassen wäre.

Das ITTC Specialist Committee on Performance of Ships in Service [24] hatte sich in der letzten Periode unter anderem mit dem Zusatzwiderstand auf Schiffe durch Steuern und Wind beschäftigt. Es wurde eine Vielzahl von Arbeiten besprochen, die für typische Off-Design-Bedingungen die Kräfte auf das Schiff untersuchten [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34]. Schiffe mit ESDs wurden nicht betrachtet.

Bestimmung der Wechselwirkungsparameter von ESD und Schiff

Um die Wirkungsweise von ESDs im Einzelnen zu verstehen und Aussagen darüber treffen zu können, welche Komponenten der ESDs welchen Beitrag zur Leistungseinsparung beitragen und welche Wechselwirkungsparameter daraus abgeleitet werden können, wurden in mehreren Veröffentlichungen die Kräfte direkt an den ESDs untersucht [33], [34], [35], [36]. Untersuchungen fanden mit Hilfe von Modellversuchen und von CFD-Rechnungen unter idealen Bedingungen statt.

In [33] wurden separate Kräfte von Propellerablaufkappen und Propulsionsbirnen gemessen. Es wurden Modellversuche mit zwei Varianten einer Propeller-Ablaufkappe (Boss Cap Fins) durchgeführt. Durch die Variation einer Ablaufkappe wurde der Propellerschub auf das gesamte Modell um 2% verringert. Aus den Einzelmessungen am Ruder und an der Ablaufkappe konnte herausgefunden werden, wie die Schubverringerng und damit die Leistungseinsparung auf die Wirkungsweise der einzelnen ESDs verteilt werden kann. Daraus konnten Wechselwirkungsparameter bestimmt und weitere Optimierungshinweise abgeleitet werden.

Die Arbeit von Dang et al. [34] hatte das Ziel, die Arbeitsprinzipien von ESDs im Allgemeinen zu verstehen, indem sie die Strömungen um den Rumpf und um die ESDs mit Hilfe eines PIV-Systems untersuchte und Kräfte und Momente in allen Komponenten des Propulsors einschließlich der ESDs bestimmte. Basierend auf den Ergebnissen der Messungen und Berechnungen wurde ein neues Prognoseverfahren entwickelt, um die Leistung des mit ESDs ausgestatteten Schiffes vorherzusagen. Im Besonderen wurden neben Propeller-Ablaufkappen (Boss Cap Fins) eine Nachstromausgleichsdüse in Kombination mit Pre-Swirl-Flossen untersucht (Abbildung 3). Alle Untersuchungen fanden unter Design-Punkt Bedingungen statt (Geradeausfahrt, Ruderwinkel gleich Null, kein Seegang, keine Strömung, keine Drift des Schiffes, etc.)



Abbildung 3: Untersuchte ESD von Dang, et al.

In [35] wurde ebenfalls eine Nachstromausgleichsdüse in Kombination mit Pre-Swirl-Flossen untersucht. Auch hier wurden die Untersuchungen unter Designbedingungen realisiert. Es wurden die etablierten Prognoseverfahren zur Leistungsbestimmung in der Großausführung überprüft und eine mögliche zukünftige Vorgehensweise vorgeschlagen.

Yu [36] hat CFD-Berechnungen von Schiffen mit realer Propellergeometrie und Nachstromausgleichsdüse durchgeführt. Es wurde im Besonderen die Wirkungsweise der Nachstromausgleichsdüse unter Designbedingungen untersucht.

Messung der Kräfte von ESDs im Modellmaßstab

Kraftmessungen am Schiff im Modellmaßstab sind notwendig, um den Leistungsbedarf in der Großausführung prognostizieren zu können. Für Schiffe mit ESDs werden die Kräfte teilweise am ESD selbst gemessen. Abhängig von der Art des ESD muss ein geeigneter Messaufbau gewählt werden. Für die Untersuchung von Propulsionsbirnen oder Nabenkappenflossen (Boss Cap Fins) wurden beispielsweise bereits in der SVA Messsysteme erfolgreich eingesetzt (Abbildung 4)[37].



Abbildung 4: Messkonzepte zur Messung von ESD-Kräften. Oben Propulsionsbirnen, unten Nabenkappenflossen

Für Düsen- und Flossen-Kraftmessungen existieren unterschiedliche Entwicklungen für spezielle ESDs, die für die im FuE-Vorhaben zu untersuchenden ESDs als Vorlage für die Konstruktion dienen können.

Dang 2011 [34] Lee, Han, Go 2015 [35] haben unabhängig voneinander Messsysteme zur Messung der Kräfte auf Nachstromausgleichsdüsen mit Pre-Swirl-Flossen entwickelt und die Ergebnisse vorgestellt (Abbildung 5 und Abbildung 6).

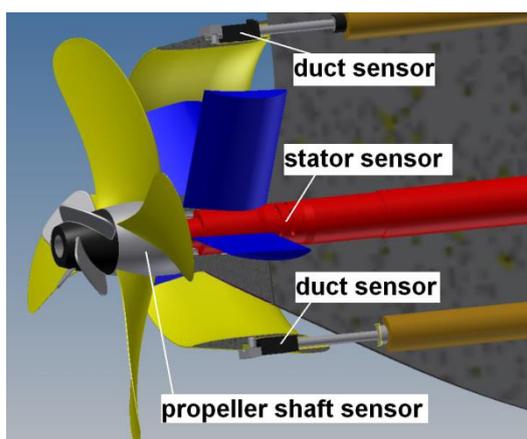


Abbildung 5: Dang 2011



Abbildung 6: Lee, Han, Go 2015

Fachliteratur

[1]	Heinke, H.-J., Junglewitz, A., Peters, H.-E.: Patentschrift DD 291 518 A5, Deutsches Patentamt, 27.12.1989
[2]	Junglewitz, A.: Untersuchungen zu Propellernabenkappenflossen, SVA-Bericht Nr. 1795, Potsdam, Juli 1989
[3]	Junglewitz, A.: Untersuchungen mit Nabenkappenflossen für den Propeller VP4021, SVA-Bericht Nr. 1810, Potsdam 1990
[4]	Junglewitz, A.: Hydrodynamische Analyse und Modellbildung zur Strömung im Nabenbereich, Wismarer Propeller- und Maschinenbau GmbH, Bericht Nr.: 90.000-320
[5]	Schulze, R.: Nabenkappe für Schiffsschrauben, Deutsche Patentanmeldung 19529992.2
[6]	Schulze, R.: SVA-Nabenkappenflossen für Schiffspropeller, Schlussbericht zum FuE-Vorhaben „Nabenkappenflossen“, Bericht Nr. 2218, Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam, November 1995
[7]	Junglewitz, A.: Propulsionsverbesserung im Nabenbereich von Schraubenpropellern, Schiffbauforschung 2/1996
[8]	Lübke, L.: Numerical Simulation of the Viscous Flow around Costa Bulbs, CFX-Conference 2002, Strasbourg, August 2002
[9]	Lübke, L.: Numerical Simulation of the Viscous Flow around Costa Bulbs, NUTTS 2002, Nantes, August 2002
[10]	Heinke, H.-J.; Rieck, K.; Steinwand, M.: Hocheffektive Ruder, Schiffbautag Mecklenburg-Vorpommern, Rostock 2005
[11]	Lübke, L.: Numerical Simulation of the Viscous Flow around Costa Bulbs, CFX-Conference 2002, Strasbourg, August 2002
[12]	Lübke, L.: Numerical Simulation of the Viscous Flow around Costa Bulbs, NUTTS 2002, Nantes, August 2002
[13]	Heinke, H.-J.; Rieck, K.; Steinwand, M.: Hocheffektive Ruder, Schiffbautag Mecklenburg-Vorpommern, Rostock 2005
[14]	Heinke, H.-J.: Untersuchungen zur Prognosesicherheit für Schiffe mit nachstrombeeinflussenden Maßnahmen, Schlussbericht zum FuE-Vorhaben BossCEff, SVA Bericht 3654, Potsdam, 2010

[15]	Heinke, H.-J.: Untersuchung von propulsionsbeeinflussenden Maßnahmen im Propellerstrahl, Schlussbericht zum FuE-Vorhaben BossCEff, SVA Bericht 4118, Potsdam, Oktober 2013
[16]	Schulze, R.: SVA-Nabekappenflossen für Schiffspropeller, Schlussbericht zum FuE-Vorhaben, SVA Bericht 2218, Potsdam, November 1995
[17]	Schulze, R.: Optimierung von Düsenpropellersystemen, Schlussbericht zum FuE-Vorhaben, SVA Bericht 2641, Potsdam, Oktober 2000
[18]	Peters, Mewis: Das Leitflossensystem der SVA und seine Anwendung am Containerschiff Typ "Saturn" der Warnowwerft Warnemünde, SVA Bericht 1847, Potsdam, Juli 1990
[19]	Stoye, Th.: OFF-DESIGN – Hydrodynamische Berechnungsmethoden für Propulsions- und Manövrierorgane im Off-Design, Abschlussbericht, Förderkennzeichen 03SX 260, Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG, Flensburg, Januar 2012
[20]	Lücke, T.: OFF-DESIGN – Entwicklung und Verifizierung hydrodynamischer Berechnungsmethoden für Propulsions- und Manöverorgane im Off-Design: Zusammenfassung der Ergebnisse, Förderkennzeichen 03SX 260B, Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH, Hamburg, 2012
[21]	Choi, Y. B.: Energy Saving Devices, DSME, 2011
[22]	Topphol, R. A.: The efficiency of a Mewis Duct in waves, NTNU Trondheim, Juni 2013
[23]	Eljardt, G., Greitsch, L., Mazza, G.: Operation-Based Ship Design and Evaluation, IMDC 2009, Trondheim, Norwegen
[24]	ITTC Specialist Committee on Performance of Ships in Service, Final Report and Recommendations to the 27th ITTC, 27th ITTC Conference, Copenhagen, 2014
[25]	Chuang, Z.: Experimental and Numerical Investigation of Speed Loss due to seakeeping and Maneuvering [PhD thesis], Trondheim, Norway, 2013.8
[26]	Sogihara, N., Tsujimoto, M., Ichinose, Y., Minami, Y., Sasaki, N. and Takagi, K.: Performance Prediction of a Blunt Ship in Oblique Waves Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 2010, Vol.12, pp.9-15

[27]	Wei Jin-fang, et al.: The Study on the Prediction Method of the Ship's Speed Loss in the Wind Wave, The ninth National hydrodynamic Conference [C], 2009
[28]	Zhu H., et al.: Numerical Simulation and Wind Tunnel Test s of Wind Loads Acting on HYSY-981 Semi-submersible Platform, Ship & Ocean Engineering [J].38:5(2009):149-152.
[29]	Mohseni Arasteh, A.; K. Lari; S. S. Shariati: Optimizing Voyage Plan in way of Persian Gulf and Red Sea Using Meteorology and Oceanography Satellite Data, Int. J. Mar. Sci. Eng., 2 (1), 121-128, Winter 2012
[30]	HOU Lin, et al.: The Study on the Wind Moment of a Ship, Jiangsu Ship [J], 26:5(2009):4-9
[31]	Yue, X.-R., et al.: Comparison of Wind Load Calculation Methods for Marine Engineering Structures, Journal of Wuhan University of Technology [J], 35:3(2011):453-456.
[32]	MA, Y.: Numerical Simulation and Experimental Study on the Aerodynamic Performance of the Sail, Wuhan University of Science and Technology, 2009
[33]	Heinke, H.-J.: Entwicklung von Verfahren zur Erfassung der Effekte im Bereich der Propellernabe auf den Propulsionsgütegrad und die Nabenwirbelkavitation, Förderkennzeichen 03SX 296A, Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH, Potsdam, 2013
[34]	Dang, J., et al.: An Exploratory Study on the Working Principles of Energy Saving Devices (ESDs), Symposium on Green Technology, Greenship'2011, Wuxi, China, October 2011
[35]	Lee, Y., Han, M., Go, S.: A Study on the Model Test and Analysis Method for Energy Saving Devices with Local Measurement System, Fourth International Symposium on Marine Propulsors, smp'15, Austin, Texas, USA, June 2015
[36]	Yu, H., et al.: Numerical Studay of Energy Saving Mechanism of Duct on a VLCC with real-geometry Propeller, Proceedings of the 3rd International Symposium on Marine Propulsors, May 2013, Tasmania, Australia. pp528-537
[37]	Heinke, H.-J.: Untersuchungen zur Prognosesicherheit für Schiffe mit nachstrombeeinflussenden Maßnahmen, Schlussbericht zum FuE-Vorhaben BossCEff, SVA Bericht 3654, Potsdam, 2010

I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Forschungsprojekt wurde in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern

- Van der Velden Barkemeyer GmbH,
- Mecklenburger Metallguss GmbH und der
- Technischen Universität Hamburg

durchgeführt. Die Federführung des Verbundvorhabens wurde durch die Van der Velden Barkemeyer GmbH wahrgenommen.

II. Eingehende Darstellung

II.1. Ergebnisse des FuE-Vorhabens

Untersuchungsobjekte

Für das Vorhaben wurden ein 13.100 TEU Containerschiff sowie der 38.000 TDW Massengutfrachter Emerald Mk II verwendet. Die Schiffs- und Modelldaten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Hauptabmessungen der untersuchten Schiffe

		13.100 TEU CS		38k BC Emerald Mk II	
Modell-Nr.		M1531S001		M1720S000	
		Modell	Schiff	Modell	Schiff
L_{PP}	[m]	8.1915	350.001	5.9365	187.000
L_{OS}	[m]	8.4418	360.693	6.0317	189.999
L_{WL}	[m]	8.3906	358.508	6.0317	189.999
B	[m]	1.1281	48.201	0.8984	28.300
B_{WL}	[m]	1.1280	48.196	0.8984	28.300
T_A	[m]	0.3277	14.000	0.3333	10.500
T_F	[m]	0.3277	14.000	0.3333	10.500
A_M	[m ²]	0.3648	666.064	0.2981	295.756
A_W	[m ²]	7.7550	14157.750	4.9692	4930.643
A_{TR}	[m ²]	0.0000	0.000	0.0138	13.680
S_{BH}	[m ²]	11.3013	20631.92	8.0915	8028.78
∇	[m ³]	2.0270	158110.6	1.4745	46087.6
λ		42.7273		31.5000	
AB/L_{PP}		0.4893		0.5140	
L_{PP}/B		7.2613		6.6078	
B/T		3.4429		2.6952	
C_B		0.6695		0.8294	
C_M		0.9871		0.9953	
C_P		0.6782		0.8333	
C_W		0.8393		0.9317	
C_{∇}		3.6877		7.0479	

Beide Schiffe sind Einschrauber, wobei sie sich in der Völligkeit unterscheiden. Das Containerschiff ist ein schlankes Schiff und die Emerald ist ein völliges Schiff. Beide Modelle wurden aus Holz gefertigt wie in Abbildung 7 sowie in Abbildung 8 gezeigt.



Abbildung 7: Modell 1531S001

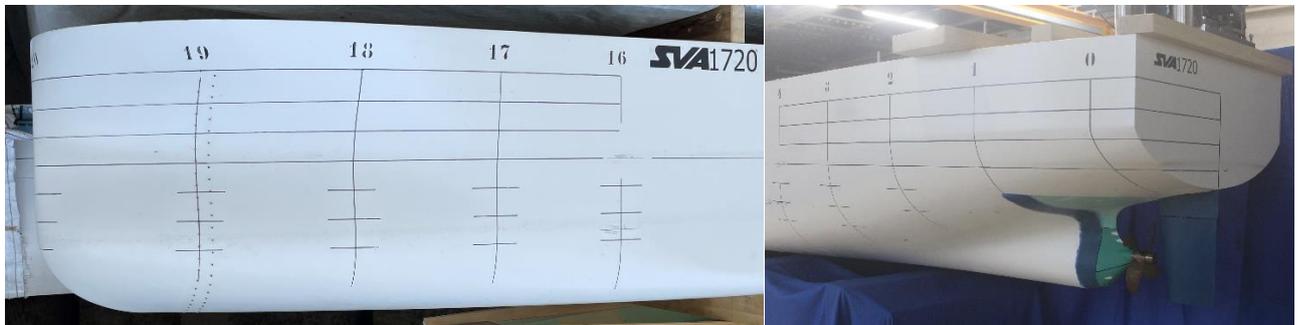


Abbildung 8: Modell 1720S0001

Tabelle 2: Propellerdaten

Propeller			P40163	P40164	FP02060
Maßstab	λ	[-]	42.7273	42.7273	31.50000
Propellerdurchmesser	D	[m]	0.20596	0.21766	0.20317
Konstruktionssteigungsverhältnis	$P_{0.7}/D$	[-]	1.04340	0.93978	0.79922
Flächenverhältnis	A_E/A_0	[-]	1.03080	0.64500	0.42400
Blattschnittlänge $r/R = 0.7$	$c_{0.7}$	[m]	0.08459	0.06186	0.04632
Skewwinkel	θ_{EXT}	[°]	24.54148	34.10412	24.51097
Nabendurchmesser Verhältnis	d_h/D	[-]	0.19371	0.16914	0.15652
Flügelzahl	Z	[-]	6	5	4
Drehrichtung			rechts	rechts	rechts
Typ			Festpropeller	Festpropeller	Festpropeller

In Tabelle 2 sind die Hauptdaten der Modellpropeller zusammengestellt. Der Modellpropeller P40163 ist der Originalpropeller und P40164 das Retrofitdesign für das Containerschiff. Die Propeller wurden im Maßstab 1:42.7273 als Festpropeller aus Messing gefertigt. FP02060 wurde vom Projektpartner MMG zur Verfügung gestellt und ist ebenfalls ein Festpropeller aus Messing.

ESDs am Containerschiff

Von dem Containerschiff wurden 2 Varianten untersucht, das Original mit der Modellnummer M1531S001 mit dem Propeller P40163 sowie das Retrofitdesign M1531S004 mit geändertem Bugwulst und P40164.

Tabelle 3: Originalentwurf M1531S001 mit Propeller P40163

Vorschiff	Propeller	Ablaufhaube	Ruder	PSD
S001	P40163	Standard	Ruder 1	keine
				

Folgende ESDs wurden von den Partnern für den Designpunkt ausgelegt und einzeln bzw. in verschiedenen Kombinationen untersucht:

- M1531S004 mit Ablauf ESCAP und Ruder 1
- M1531S004 mit Ablauf ESCAP und Ruder ESPAC mit Finnen
- M1531S001 mit Ablauf CONDIV und Ruder ESPAC mit Finnen
- M1531S001 mit Ablauf CONDIV und Ruder ESPAC ohne Finnen

Tabelle 4 zeigt die einzelnen ESDs.

Tabelle 4: M1531S004 mit ESDs, optimiert für den Designpunkt

Vorschiff	Propeller	Ablaufhauben	Ruder	PSD
S004	P40164	CONDIV, ESCAP	ESPAC	keine
		 		

Für die Betriebszustände wurden von den Partnern für den Designpunkt nachfolgende ESDs ausgelegt und einzeln bzw. in verschiedenen Kombinationen untersucht:

- M1531S004 mit P40164, Standard Ruder1, Ablauf ZYL
- M1531S004 mit P40164, ESPAC Ruder mit Finnen, Ablauf CONDIV 2
- M1531S004 mit P40164, Standard Ruder1, Ablauf ESCAP 2

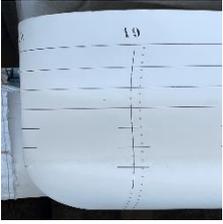
Tabelle 5: M1531S004 mit ESDs, optimiert für die Betriebspunkte

Vorschiff	Propeller	Ablaufhaube	Ruder	PSD
S004	P40164	CONDIV 2, ESCAP 2	Ruder 1, ESPAC 2	keine
				

ESD's am Massengutfrachter M1720S000

Das Modell M1720S000 wurde zusammen mit dem Propeller FP02060 untersucht. Der Propeller wurde vom Partner MMG zur Verfügung gestellt.

Tabelle 6: M1720S001 - Original

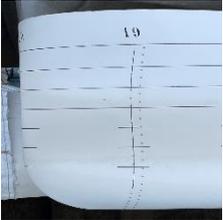
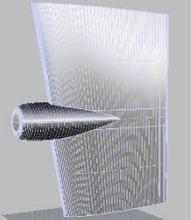
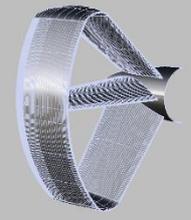
Vorschiff	Propeller	Ablaufhaube	Ruder	PSD
S000	FP02060	Standard	Ruder 1	keine
				

Folgende ESDs wurden von den Partnern für den Designpunkt ausgelegt und einzeln bzw. in verschiedenen Kombinationen untersucht:

- Propeller mit Ablauf CON, Ruder 1 (Standard)
- Propeller mit Ablauf CONDIV, Ruder ESPAC mit Costa-Birne (ESPAC)
- Propeller mit Ablauf ESCAP (Flügelhaube), Ruder 1 (ESCAP)
- Propeller mit Ablauf CON, Ruder 1, Zuströmdüse BSD (BSD)

Tabelle 7 zeigt die einzelnen ESDs.

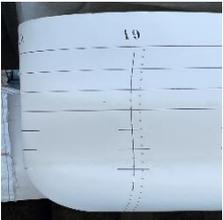
Tabelle 7: ESDs für den Designpunkt

Vorschiff	Propeller	Ablaufhaube	Ruder	PSD
S000	FP02060	CON, CONDIV, ESCAP	ESPAC	BSD
				

Für die Betriebszustände wurden die folgen ESDs und deren Kombinationen von den Partnern optimiert:

- Propeller mit Ablauf CON, Ruder 2
- Propeller mit Ablauf CONDIV 2, Ruder ESPAC 2 mit Costa-Birne (ESPAC)
- Propeller mit Ablauf ESCAP 2 (Flügelhaube), Ruder 2 (ESPAC)
- Propeller mit Ablauf CON, Ruder 2, Zuströmdüse BSD2 (BSD)

Tabelle 8: ESDs für die Betriebspunkte

Vorschiff	Propeller	Ablaufhaube	Ruder	PSD
S000	FP02060	CONDIV 2, ESCAP 2	Ruder 2, ESPAC 2	BSD 2
				

Laborversuche mit dem Containerschiff

Für das Containerschiff wurden Versuche mit den folgenden Konfigurationen durchgeführt:

- Widerstands- und Propulsionsversuche mit der Basiskonfiguration
- Reverse Open Water Tests mit dem optimierten Propeller sowie mit
 - ESPAC Ruder mit Finnen
 - ESPAC Ruder ohne Finnen
 - Twistiertem Ruder
- Propulsionsversuche mit den für den Designpunkt optimierten ESDs
- Propulsionsversuche mit den für die Betriebszustände optimierten ESDs

Abbildung 9 zeigt den Einfluss der für den Designpunkt optimierten ESDs auf den Leistungsbedarf bei Geradeausfahrt, d.h. ohne Drift- und Ruderwinkel. Mit allen ESDs werden signifikante Leistungseinsparungen im gesamten Geschwindigkeitsbereich erreicht.

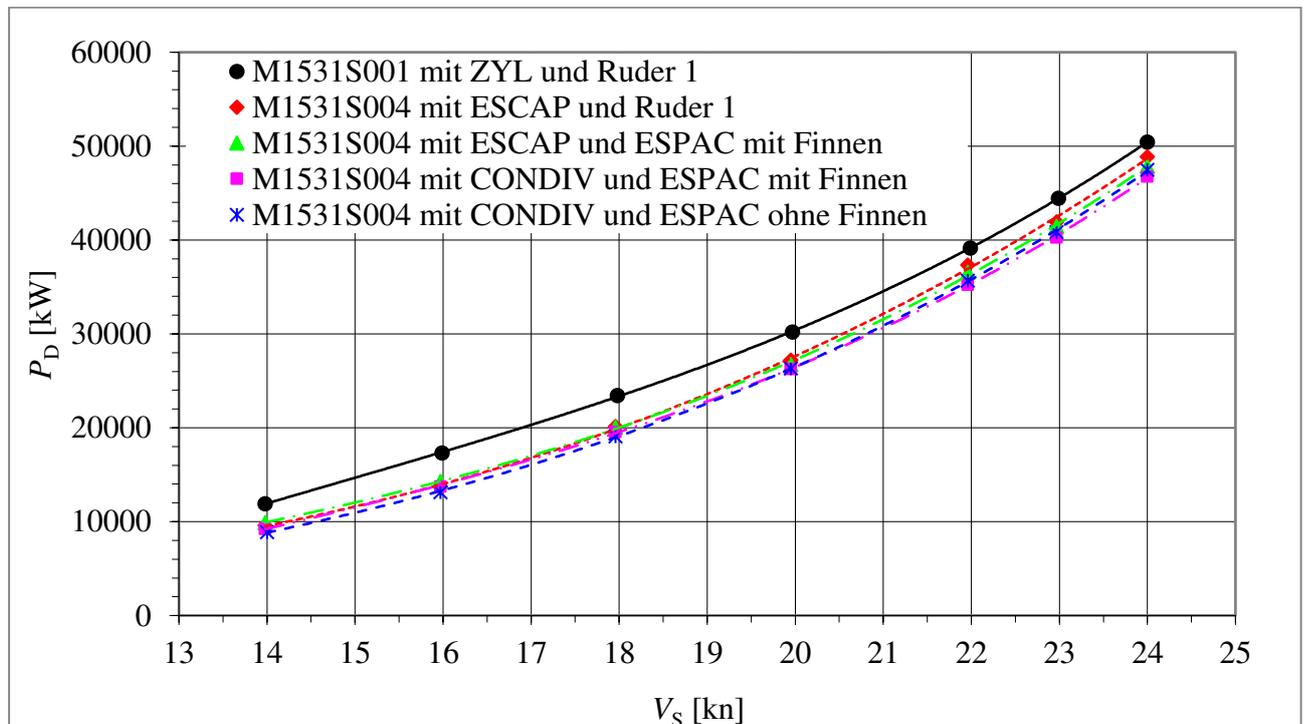


Abbildung 9: Einfluss der ESDs auf die Leistung

Bei den Betriebszuständen handelt es sich um verschiedenen Kombinationen von Gier- und Ruderwinkel. Diese resultieren daraus, dass das Schiff im Betrieb den Kurs gegen seitlichen Wind / Strömung / Wellen halten muss. Diese Daten wurden von den Partnern aus einer statistischen Bewertung von Messungen während der Seereisen des Containerschiffes ermittelt. Folgende Betriebszustände wurden untersucht:

Tabelle 9: Betriebszustände

Betriebszustand	Driftwinkel β [°]	Ruderwinkel δ_R [°]
Referenz BZ1	0	0
BZ2	0	1
BZ3	0	-1
BZ4	0	-3
BZ5	2	-3
BZ6	4	-6
BZ7	-2	1
BZ8	-4	4

Dabei bedeutet ein positiver Driftwinkel Bug nach Steuerbord und ein positiver Ruderwinkel bedeutet, dass die Ruderhinterkante nach Backbord gerichtet ist. Ebenfalls aus statistischen Ermittlungen wurden 3 Geschwindigkeiten festgelegt, für welche die Versuche durchgeführt wurden:

$V = 14,32 \text{ kn}$

$V = 17,46 \text{ kn}$

$V = 19,81 \text{ kn}$

Abbildung 10 zeigt das Containerschiffsmodell mit den ESDs CONDIV-Ablaufhaube und ESPAC-Ruder, in der für den Designpunkt optimierten Variante.


Abbildung 10: M1531Z004 mit CONDIV-Ablauf und ESPAC-Ruder

In Abbildung 11 ist der Einfluss der untersuchten Betriebszustände auf die erforderliche Leistung für die drei untersuchten Geschwindigkeiten dargestellt. Bei Gierwinkeln im Bereich von $\pm 2^\circ$ ist der Einfluss moderat. Bei größeren Gierwinkeln nimmt der Einfluss zu, allerdings asymmetrisch, was in der Propellerdrehrichtung begründet ist.

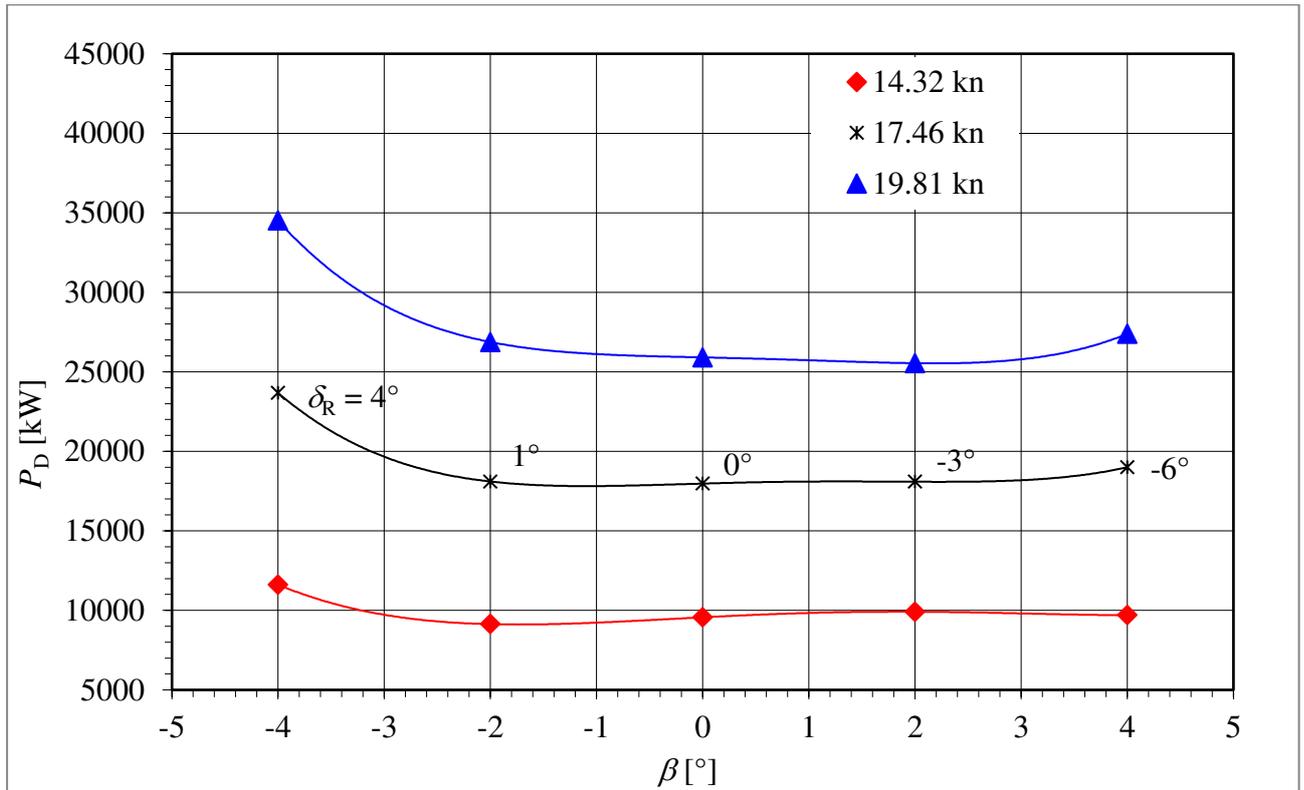


Abbildung 11: Einfluss der Betriebszustände auf die Leistung (ESPAC mit CONDIV)

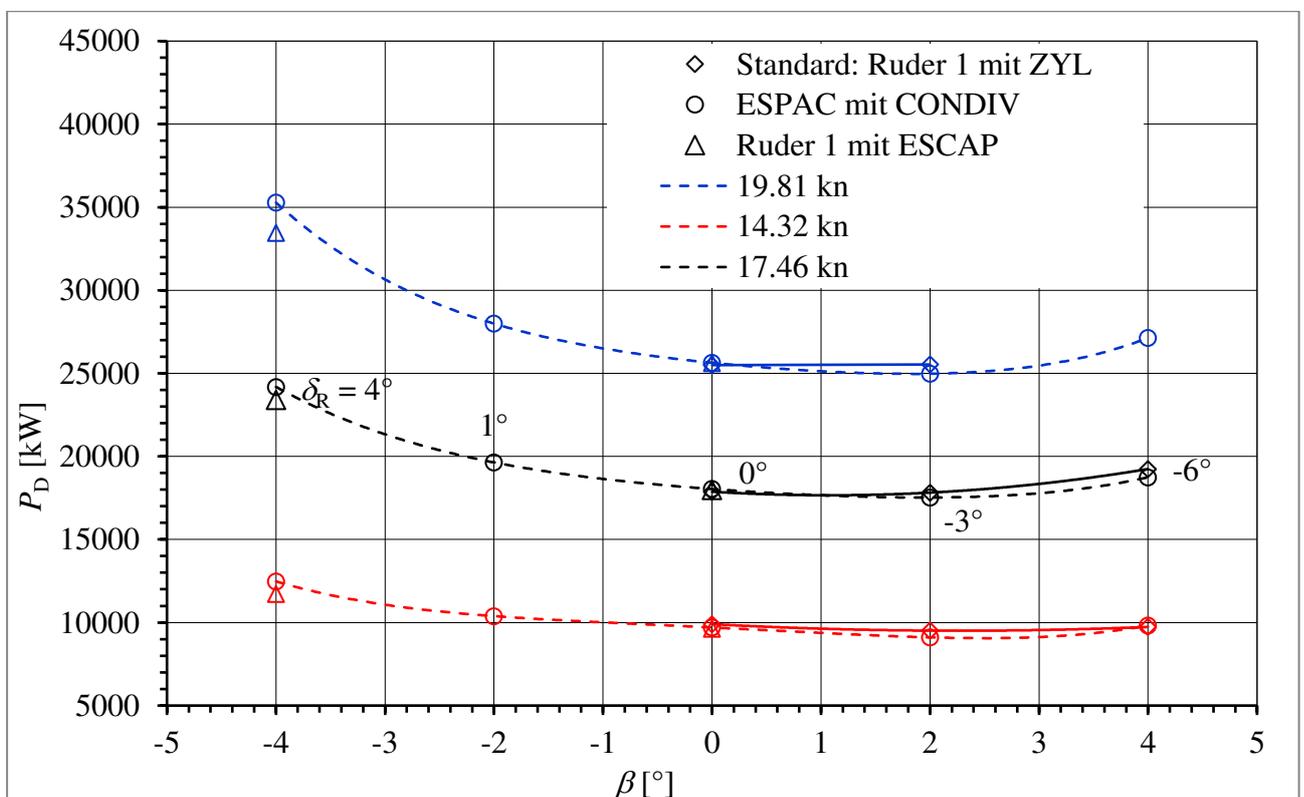


Abbildung 12: Optimierte ESDs bei den Betriebszuständen

Abbildung 12 zeigt die Leistung der für die Betriebszustände optimierten ESDs. Bei der letzten Messkampagne mit dem Modell M1531 kam es zu einer Havarie, bei der das Modell zerstört wurde. Deshalb fehlen hier einige Messpunkte. Es war wirtschaftlich nicht vertretbar, für einen verbleibenden Messtag ein neues Modell zu bauen. Die gemessenen Daten mit den für die Betriebspunkte optimierten ESDs zeigen ein sehr ähnliches Bild wie mit denen, die für den Designpunkt optimiert wurden. Bei den für die Betriebspunkte optimierten ESDs wurden bei $+2^\circ$ Driftwinkel etwas geringere Leistungen gemessen und bei -2° etwas höhere Leistungen. Die ESCAP ist gegenüber dem größten Driftwinkel weniger sensibel als das ESPAC.

Weitere Ergebnisse wie z.B. die Kräfte an den Rudern und Ablaufkappen, sowie eine ausführliche Beschreibung der Versuche sind in den Berichten [A] – [C] beschrieben.

Laborversuche mit dem Massengutfrachter

Für den Massengutfrachter wurden Versuche mit den folgenden Konfigurationen durchgeführt:

- Widerstands- und Propulsionsversuche mit der Basiskonfiguration
- Propulsionsversuche mit den für den Designpunkt optimierten ESDs
- Propulsionsversuche mit den für die Betriebszustände optimierten ESDs

Abbildung 13 zeigt den Einfluss der für den Designpunkt optimierten ESDs auf den Leistungsbedarf bei Geradeausfahrt, d.h. ohne Drift- und Ruderwinkel. Mit allen ESDs werden Leistungseinsparungen im gesamten Geschwindigkeitsbereich erreicht. Dabei sind im oberen Geschwindigkeitsbereich BSD und ESPAC besonders effektiv und im unteren Geschwindigkeitsbereich ESCAP und BSD.

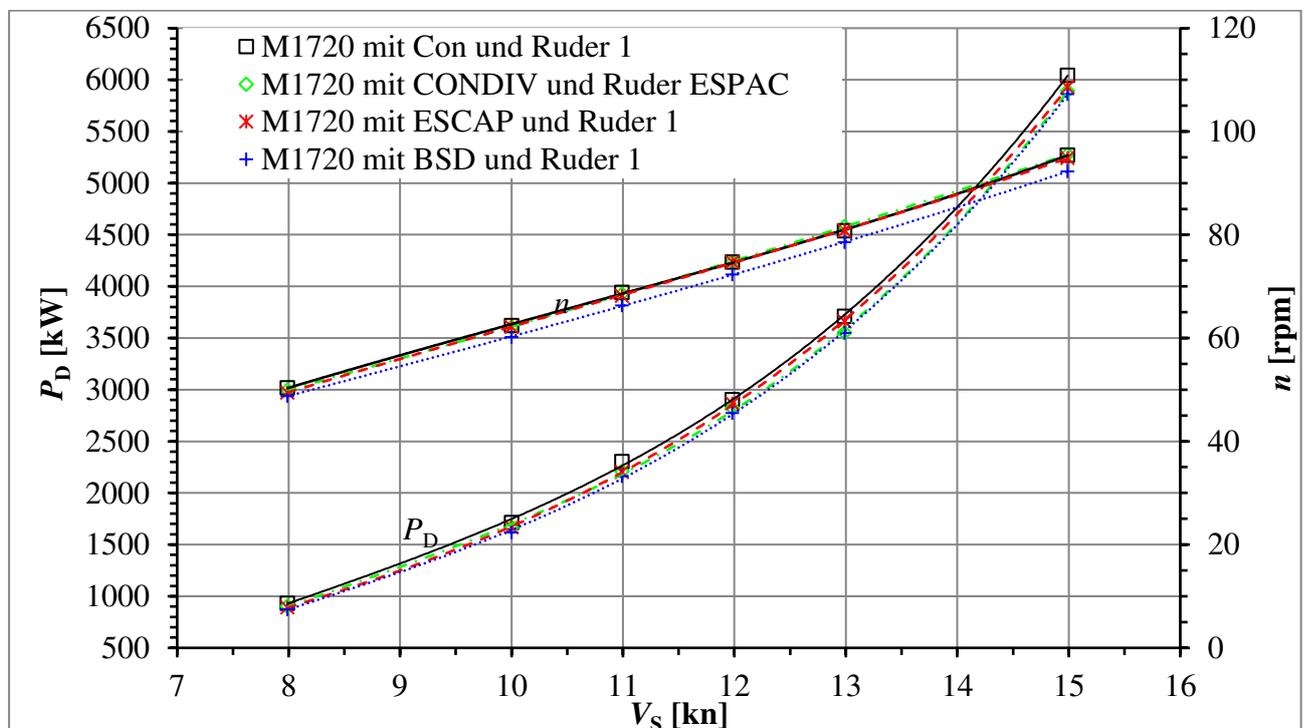


Abbildung 13: Vergleich der ESDs bei Geradeausfahrt

Die Versuche bei den Betriebszuständen wurden für eine Geschwindigkeit von 12 kn durchgeführt. In Tabelle 10 sind die untersuchten Betriebszustände aufgelistet.

Tabelle 10: Betriebszustände für den Massengutfrachter

Betriebszustand	Tiefgang [m]	Driftwinkel β [°]	Ruderwinkel δ_R [°]
BZ1	10.50	0	0
BZ2	10.50	0	4
BZ3	10.50	0	-4
BZ4	10.50	2.5	4
BZ5	10.50	5	6
BZ6	10.50	-2.5	-4
BZ7	10.50	-5	-6
BZ8	6.79/5.27	0	0
BZ9	6.79/5.27	0	4
BZ10	6.79/5.27	0	-4
BZ11	6.79/5.27	2.5	0
BZ12	6.79/5.27	5	0
BZ13	6.79/5.27	-2.5	0
BZ14	6.79/5.27	-5	0

Abbildung 14 zeigt den Einfluss der Betriebszustände auf den Leistungsbedarf mit den für den Designzustand optimierten ESDs für den Designtiefgang. Es ist ein deutlicher Einfluss der Betriebszustände auf die Leistung bei allen ESDs zu sehen. Mit den optimierten ESDs ist dieser Einfluss verringert worden, wie Abbildung 15 zeigt. Der Leistungsbedarf des Schiffes mit den ESDs ist bei Geradeausfahrt etwas höher geworden, hat sich aber bei den Driftwinkeln verringert. Abbildung 15 zeigt eine Leistungseinsparung durch die ESDs über den größten Bereich der Betriebszustände. Bei negativen Driftwinkeln haben die ESDs eine bessere Wirkung als bei den positiven. Am stabilsten verhält sich die BSD bei veränderten Betriebszuständen.

Ähnlich verhält es sich im Ballastzustand. Die für die Betriebszustände optimierten ESDs wurden im untersuchten Gierwinkelbereich deutlich verbessert. Im Gegensatz zum Designtiefgang funktioniert die BSD im Ballastzustand nicht so gut.

Eine detaillierte Beschreibung der durchgeführten Versuche und weiterer Ergebnisse ist in [E] bis [H] zu finden.

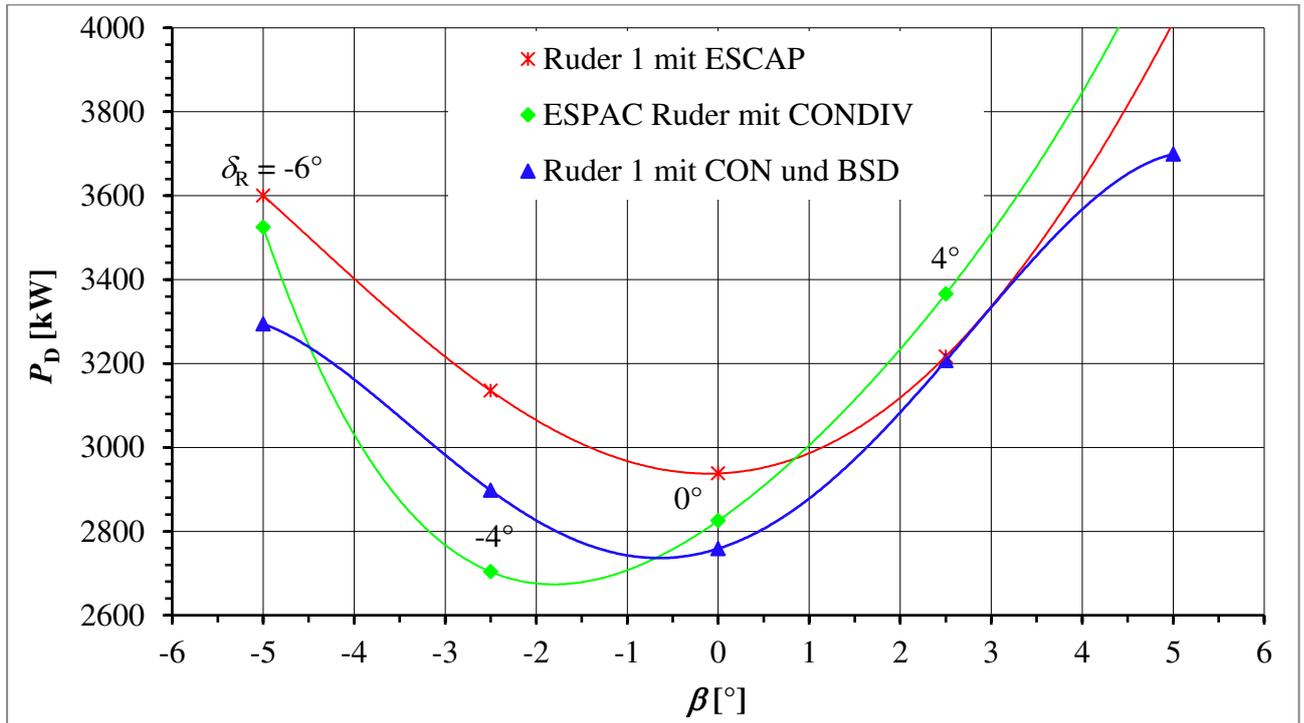


Abbildung 14: Vergleich der ESDs vor der Optimierung im Designtiefgang

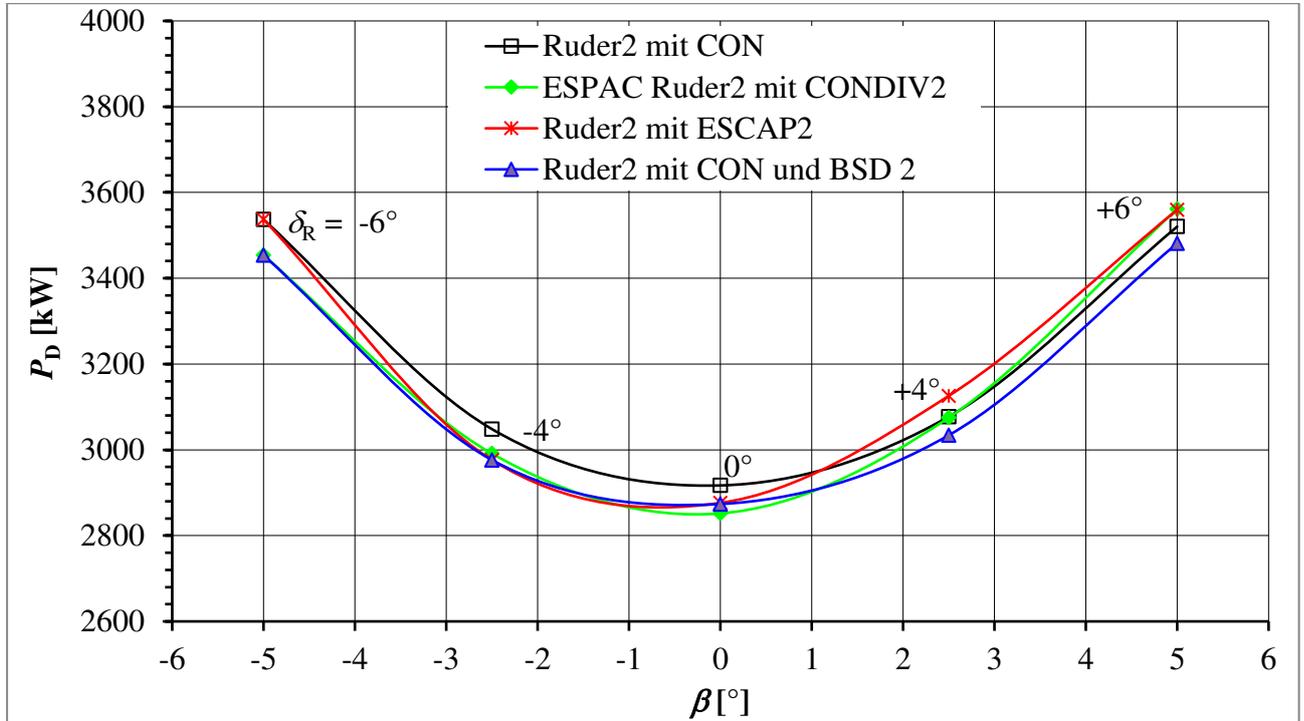


Abbildung 15: Vergleich der ESDs nach der Optimierung im Designtiefgang

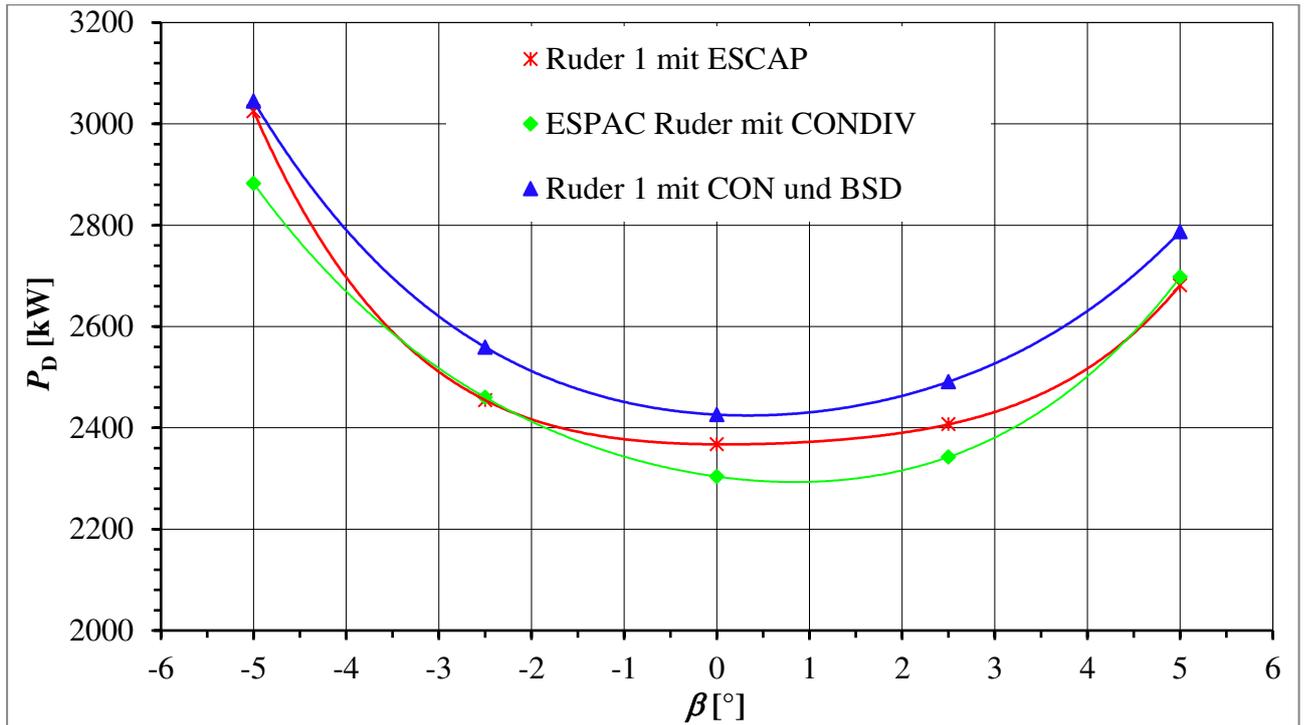


Abbildung 16: Vergleich der ESDs vor der Optimierung im Ballasttiefgang

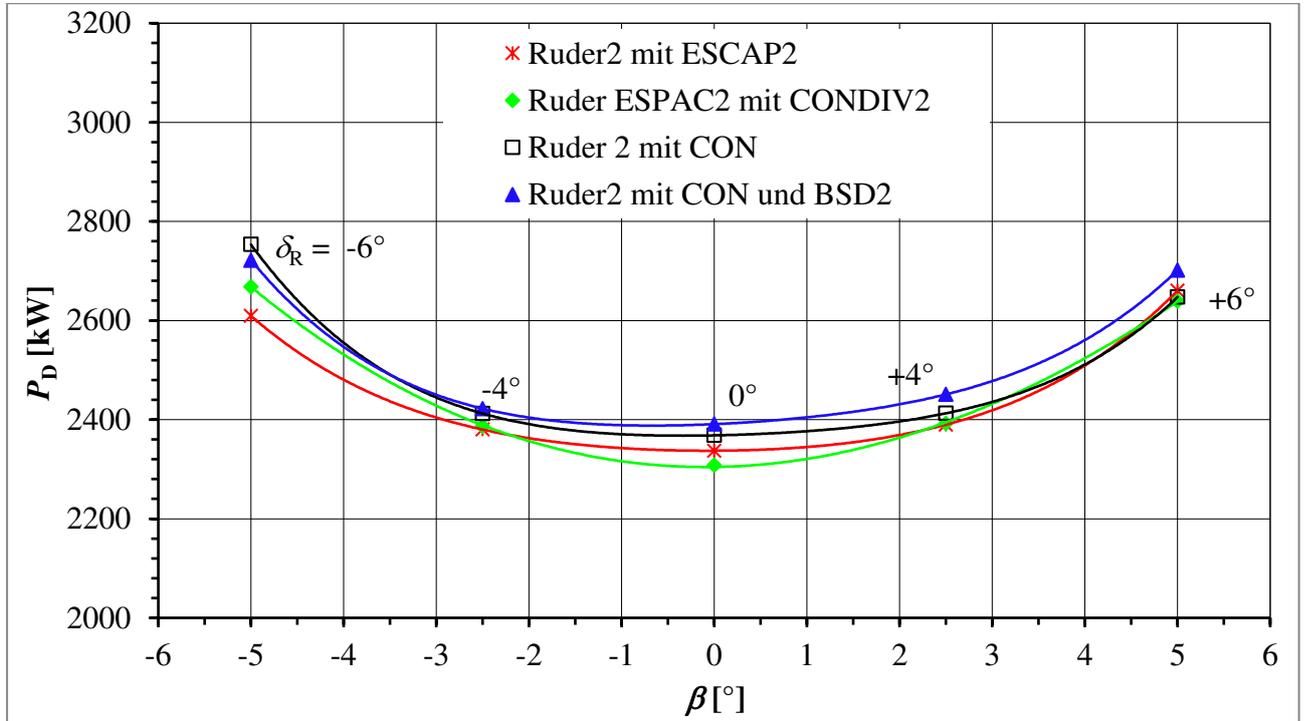


Abbildung 17: Vergleich der ESDs nach der Optimierung im Ballasttiefgang

Optimierung der Schiffslinien für das Operationsprofil

Aufbauend auf den vorgenannten Ergebnissen wurde untersucht, inwieweit die Schiffslinien für die Betriebsbedingungen optimiert werden können. Dazu wurde eine Optimierungsroutine entwickelt. Für

die Optimierung der ursprünglichen Rumpfformen wurde das CAE Programm „CAESES“ verwendet. Hierbei dient die Ausgangsgeometrie als Eingangsgeometrie. Für die Variantenerzeugung wird die Strategie der Geometrieverzerrung angewendet. Die Modifikationen erfolgen in vorab definierten Einflussgebieten. Abbildung 18 zeigt die Einflussgebiete am Beispiel des Containerschiffes. Die Überlagerung der verschiedenen Einflussgebiete ermöglicht das Erzeugen von neuen Geometrievarianten auf Basis der Grundform wodurch einerseits das Design wiedererkennbar bleibt und andererseits eine große Bandbreite an für den Schiffswiderstand und Propulsionsgütegrad signifikanten Modifikationen möglich ist. Es wurden folgende Modifikationen zugelassen:

- Völligkeit des Vorschiffs
- Völligkeit der Wasserlinie
- Bugwulst -Länge, -Breite, -Höhe (wenn vorhanden)
- Völligkeit des Hinterschiffs allgemein
- Völligkeit der Heckeinschnürung
- Völligkeit des Heckwulsts
- Spiegeltauchung

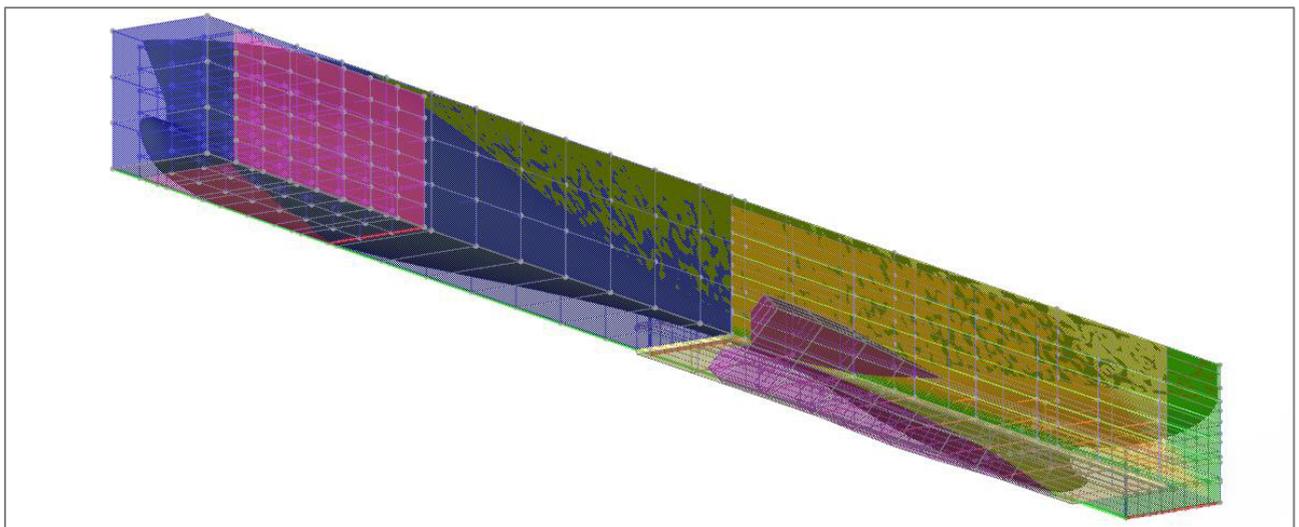


Abbildung 18: Einflussgebiete für die Optimierung

Da sich bei der Kombination der Geometriemodifikationen die Verdrängungsverteilung ändert, wird der Schiffstiefgang bei der Optimierung nachgeführt. Die Zielfunktion der Optimierung war die Minimierung der Schleppleistung unter Simulation der Propellerwirkung bei gleicher Gewichtung der berechneten Zustände. Die Optimierung des Containerschiffes erfolgte für 1 Tiefgang und 3 Geschwindigkeiten. Die Optimierung des Massengutfrachters erfolgte für den Design- und den Ballastzustand bei 1 Geschwindigkeit. In Abbildung 19 sind 2 Varianten aus der Geometrieverzerrung zu sehen.

Die Optimierungen führten zu einer Reduktion der kombinierten Schleppleistung um 2,3 % für das Containerschiff und um 1,7 % für den Massengutfrachter.

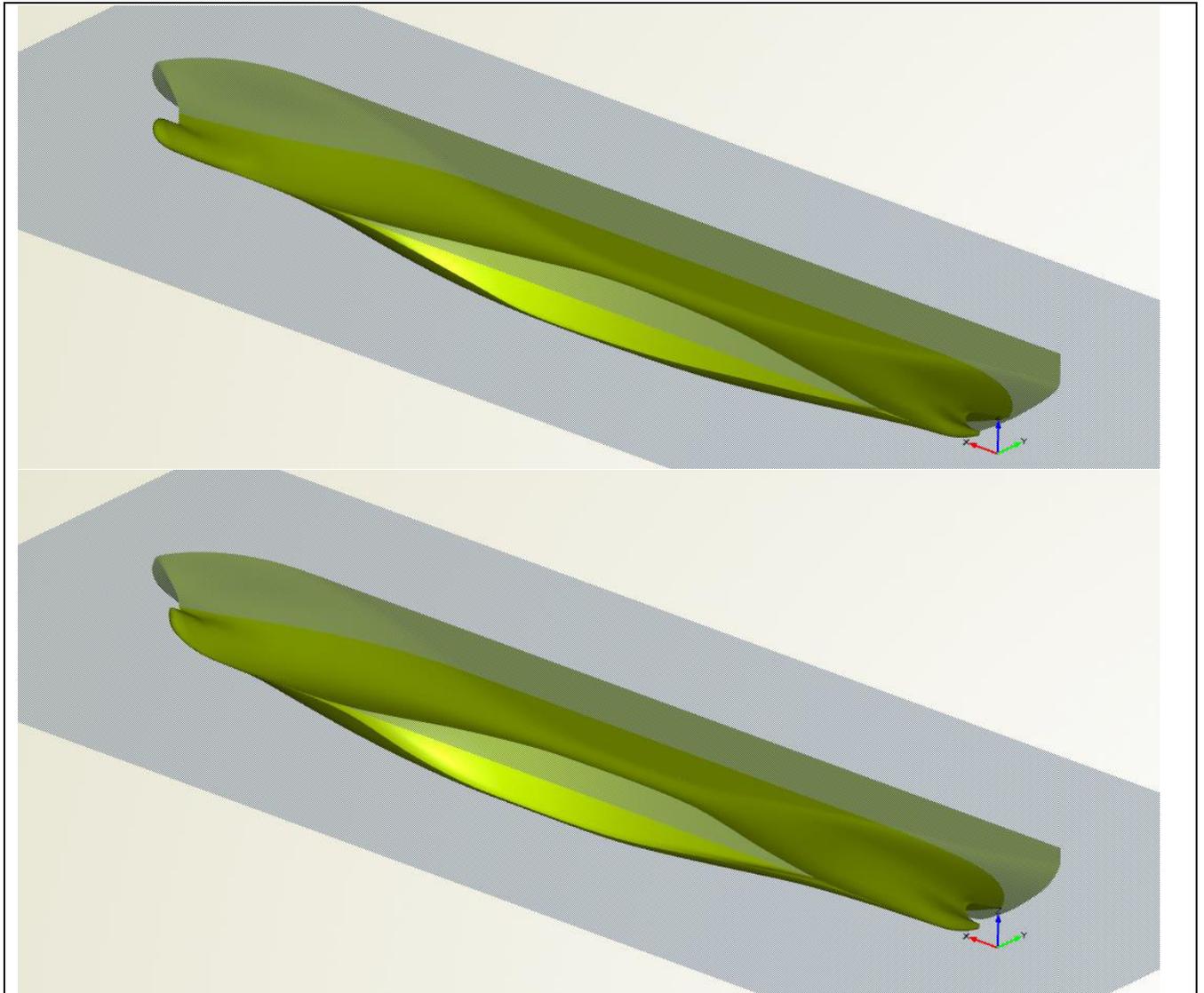


Abbildung 19: Varianten aus der Geometrieverzerrung

Weil die Formänderungen an den vorhandenen Modellen nicht umsetzbar waren, wurden anstelle von Propulsionsversuchen Propulsionsberechnungen durchgeführt. Diese haben zu folgenden Ergebnissen geführt:

- Containerschiff
 - Leistungsreduktion unter Verwendung der optimierten ESDs bei Geradeausfahrt
 - Leistungsreduktion unter Verwendung der optimierten ESDs bei Drift
- Massengutfrachter
 - Keine Leistungsreduktion unter Verwendung der optimierten ESDs bei Geradeausfahrt auf beiden Tiefgängen
 - Leistungsreduktion durch die optimierte Schiffsform nur auf Designtiefgang
 - Leistungsreduktion bei Drift auf Designtiefgang

Die Ergebnisse sind in Abbildung 20 sowie in Abbildung 21 grafisch dargestellt.

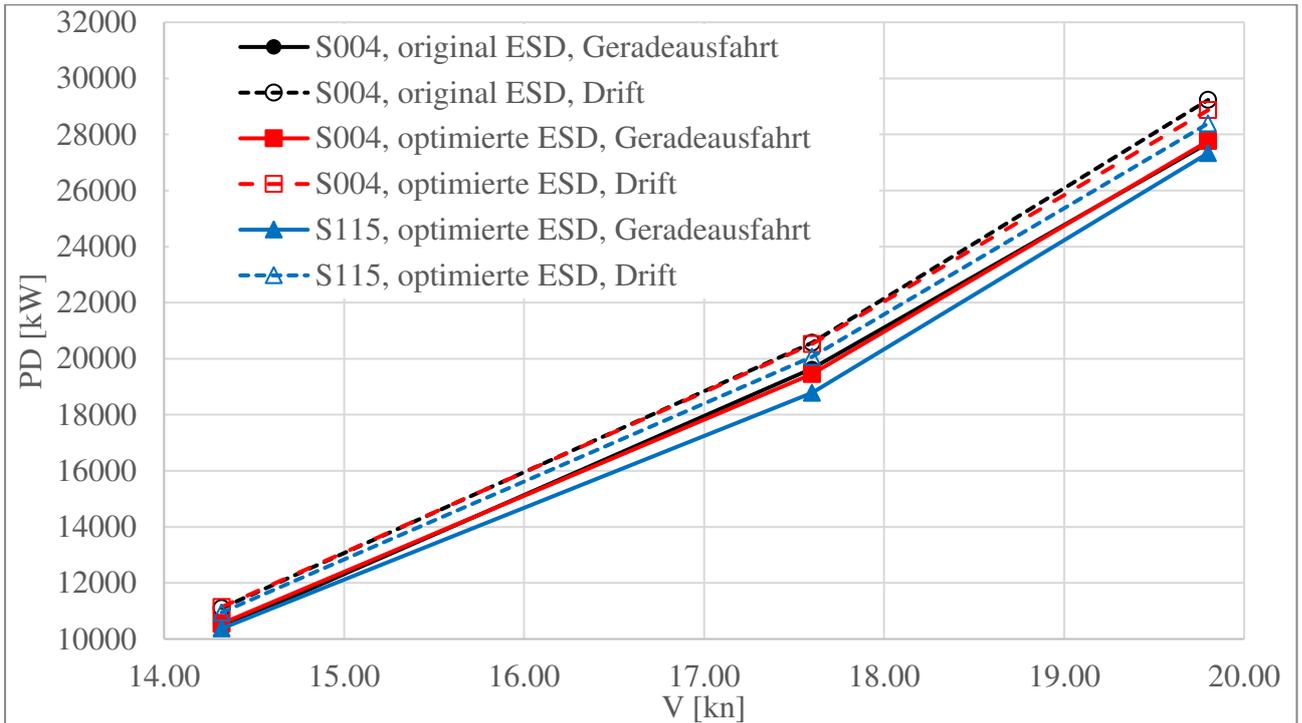


Abbildung 20: Ergebnis der Propulsionsrechnungen für das Containerschiff

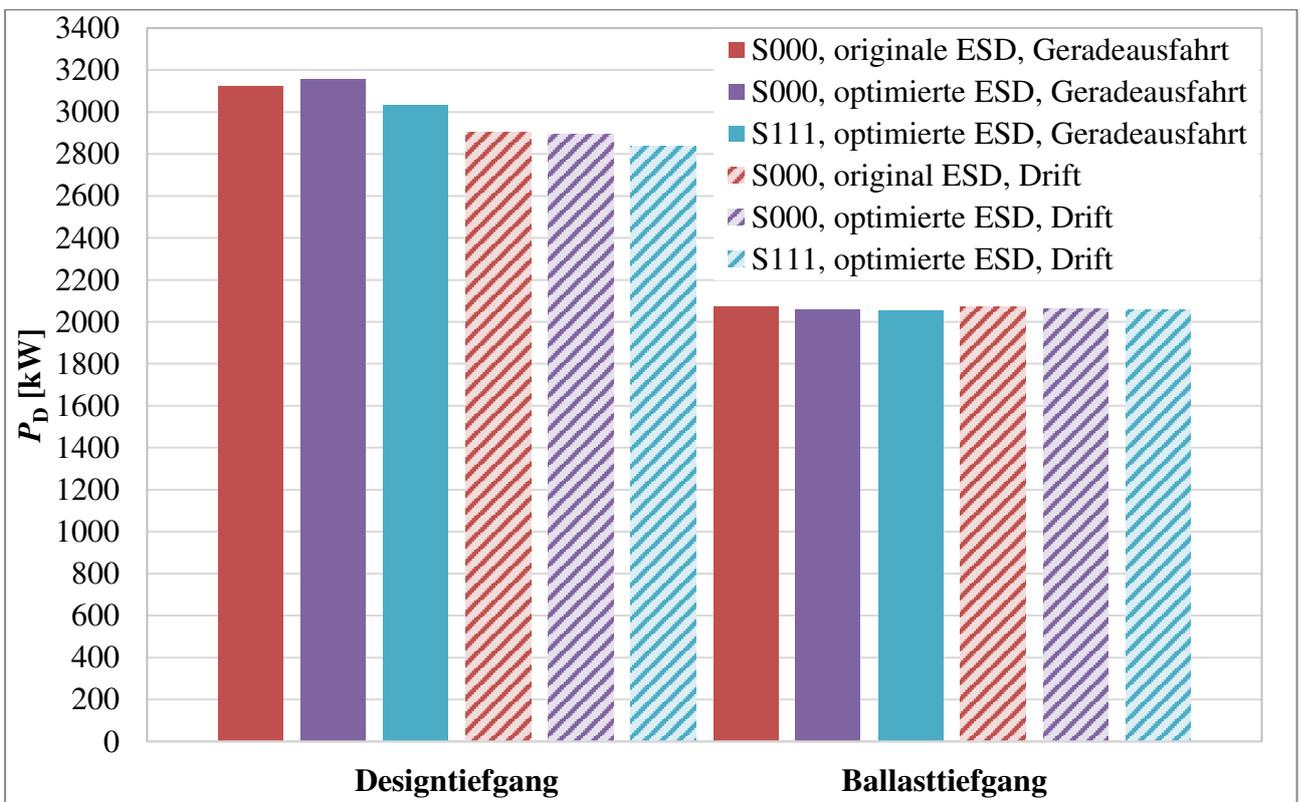


Abbildung 21: Ergebnis der Propulsionsrechnungen für Massengutfrachter

Eine detaillierte Beschreibung der durchgeführten Berechnungen und weiterer Ergebnisse ist in [I] zu finden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Gesamtziel des Vorhabens erreicht wurde. Die untersuchten ESDs konnten so optimiert werden, dass sie auch unter den normalen Betriebsbedingungen, gekennzeichnet durch gelegtes Ruder und Fahrt mit Drift, zu einer Leistungseinsparung führen. Es ist auch möglich, die gesamte Schiffsform für die Betriebszustände zu optimieren. Die ESDs wirken auch an den optimierten Formen.

Versuchsberichte

- [A] Richter, H.:
Widerstands- und Propulsionsversuche mit Messung von Ablaufkappen- und Ruderkräften, Modelle M1531S001, M1531S004, Propeller P40163, P40164.
SVA-Bericht 4884
- [B] Richter, H.:
Reverse Open Water Tests mit dem Propeller P40164 und verschiedenen Ablauf- und Rudervarianten.
SVA-Bericht 4889
- [C] Richter, H.:
Propulsionsversuche bei unterschiedlichen Gier- und Ruderwinkeln mit Messung von Ablauf- und Ruderkräften, Modell M1531S004, Propeller P40164.
SVA-Bericht 4910
- [D] Richter, H.:
Propulsionsversuche bei unterschiedlichen Gier- und Ruderwinkeln mit Messung von Ablauf- und Ruderkräften mit optimierten ESDs, Modell M1531S004, Propeller P40164.
SVA-Bericht 4939
- [E] Richter, H.:
Widerstands- und Propulsionsversuche mit Messung von Ablaufkappen- und Ruderkräften, Modell M1720S000, Propeller FP02060.
SVA-Bericht 4969
- [F] Richter, H.:
Propulsionsversuche bei unterschiedlichen Drift- und Ruderwinkeln mit Messung von Ablauf- und Ruderkräften mit verschiedenen ESDs, Modell M1720S000, Propeller FP02060.
SVA-Bericht 4981
- [G] Richter, H.:
Propulsionsversuche bei unterschiedlichen Drift- und Ruderwinkeln mit Messung von Ablauf- und Ruderkräften mit optimierten ESDs, Modell M1720S000, Propeller FP02060.
SVA-Bericht 4998
- [H] Richter, H.:
Prognoserechnungen für die Propulsionsversuche mit einem Bulk Carrier bei den Betriebszuständen Runde 1 und 2, Modell M1720S000, Propeller FP02060.
SVA-Bericht 5009
- [I] Schomburg, E.:
Rumpfoptimierung und Propulsionsberechnungen für 2 Frachtschiffe mit ESDs,
SVA-Bericht 5054

II.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

II.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Mit dem Umbau des Entwurfsprozesses für ESDs hin zu statistischen Konzepten wird teilweise technisches Neuland betreten. Es gibt derzeit kein am Markt praktiziertes Konzept, welches die in diesem Vorhaben beschriebenen Anforderungen erfüllen würde. Der Erfolg des Vorhabens hing wesentlich daran, dass die Prognosegenauigkeit höher ist als die Unschärfen der durch die Umweltbedingungen hervorgerufenen Änderungen. Es war nicht sicher, ob es wirklich gelingt, derart genaue Prognoseverfahren und Messtechniken entwickeln zu können. Die Ergebnisse fließen unmittelbar in die praktische Anwendung ein und können sowohl von den Zulieferern als auch von der Versuchsanstalt verwendet werden.

Die Forschungsarbeiten in dem abgeschlossenen Vorhaben leisten einen wichtigen Beitrag zum technisch-wissenschaftlichen Fortschritt im Bereich der Entwicklung von propulsionsverbessernden Maßnahmen. Die Ergebnisse des Teilantrages münden für die SVA nicht in die Entwicklung eines Produktes, sondern unterstützen direkt die Entwicklungen und praktischen Anwendungen der Projektpartner und indirekt die Entwicklungen der deutschen Industrie. Die Verwendung der Ergebnisse kann der deutschen Werft- und Zulieferindustrie einen Vorteil gegenüber dem internationalen Markt verschaffen.

Der durch das FuE-Thema ESD@SEA geschaffene Verbund und durch das daraus resultierende Netzwerk hat sich eine Art Kompetenz-Cluster geschaffen, der das Potenzial hat, in der maritimen Technik weitere Innovationen zu implementieren und so die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Schiffbaus und der entsprechenden Zulieferindustrie zu verbessern.

II.4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Anforderungen an die energieeffiziente Transportleistung von Schiffen erhöhen sich ständig. Besonders im Hinblick auf die 2020 in Kraft tretende Verschärfung des Energy Efficiency Design Index (EEDI) sind Reeder und Schiffseigner gezwungen Maßnahmen zu ergreifen die Schiffe möglichst energieeffizient zu betreiben. Im Jahr 2023 ist das Inkrafttreten des Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) geplant. Gerade für existierende Schiffe wird die Nachrüstung von ESDs interessant. Die Ergebnisse des Projektes werden diesen gestiegenen Anforderungen Rechnung tragen, indem sie aufzeigen, welcher Weg zu einem realen, energieeffizienten Betrieb der Schiffe gegangen werden muss.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden über die tägliche Arbeit und Zusammenarbeit mit der Schiffbauindustrie im Prozess der Auswahl, Optimierung und Anwendung von ESDs und der Entwicklung von Schiffslinien unter Off-Design genutzt.

Die SVA selbst vertreibt die gewonnenen Ergebnisse in Form von Know-how Transfer bei jedem Industriauftrag. Der direkte Nutzen ergibt sich durch die Gewährleistung von Industriaufträgen durch Versuchs- und Entwicklungsleistungen im Rahmen der Optimierung des Gesamtsystems Schiff und des Propulsionssystems.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens passen in das Gesamtkonzept der SVA, bei dem die Entwicklung auf dem Gebiet der Leistungseinsparungen von Schiffen ein Hauptbestandteil ist. Durch das erweiterte Know-how wird die Wettbewerbsfähigkeit der SVA auf diesem Gebiet weiter gefestigt.

II.5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.

II.6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Erfolgskontrollbericht

zum FuE-Vorhaben

„Entwurf von propulsionsverbessernden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen (ESD@SEA)“

Teilvorhaben

„Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

Reg.-Nr.:	03SX436C
FuE-Einrichtung:	Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH
Titel:	Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“
Projektlaufzeit:	01.06.2017 bis 28.02.2021

Potsdam, den 31.08.2021

Name und Telefonnummer des Projektleiters: R. Grabert, Tel.: 0331 56712-12

Firmenstempel

Schiffbau-Versuchsanstalt
Potsdam GmbH
Manquarder Chaussee 100
14489 Potsdam


Unterschrift des Projektleiters

„Entwurf von propulsionsverbessenden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen“

Teilvorhaben „Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

Inhaltsangabe

	Seite
1. Beitrag des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen	2
2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, Nebenergebnisse, Erfahrungen	2
3. Fortschreibung des Verwendungsplanes	6
3.1 Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen	6
3.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten	6
3.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten	7
3.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	8
4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	9
5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer	9
6. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung	9

„Entwurf von propulsionsverbessenden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen“

Teilvorhaben „Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

1. Beitrag des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen

Die Forschung, Entwicklung und Innovation in der maritimen Wirtschaft gehört zu den technologischen Schwerpunktthemen des BMWi. Das hier beschriebene Vorhaben reiht sich in das BMWi-Förderprogramm „Schifffahrt und Meerestechnik für das 21. Jahrhundert“, welches als übergeordnetes Förderziel die nachhaltige Stärkung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen maritimen Industrie ausweist, ein und erfüllt die Ziele der High-Tech Strategie der Bundesregierung als Resultat der ‘Nationalen Maritimen Konferenz’. Die Förderschwerpunkte liegen in erster Linie in der Verbesserung des Systemproduktes Schiff und in der Erhöhung der Produktivität der deutschen Werften und ihrer Zulieferer.

Das geplante Vorhaben entspricht in seinen Zielstellungen den konkreten förderpolitischen Schwerpunkten

- Weiterentwicklung der Schiffshydrodynamik
- Erhöhung der Zuverlässigkeit des Schiffsbetriebs
- Schonung der Umwelt

Ergänzend zu den Ausführungen im Leitantrag leistet das Vorhaben einen wesentlichen Beitrag zur Untersuchung, Optimierung und Weiterentwicklung von Schiffen mit ESDs. Für die SVA Potsdam, als Dienstleister der weltweiten Schiffbauindustrie, ergeben die Ergebnisse des Projektes eine Erweiterung des Dienstleistungsangebotes. Die in diesem Vorhaben zu entwickelnden Versuchs- und Auslegungsmöglichkeiten ermöglichen der SVA eine Erweiterung des Portfolios und einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz.

2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, Nebenergebnisse, Erfahrungen

Im Verbundvorhaben ESD@SEA wurde die Wirkungsweise von bestimmten Energy Saving Devices (ESDs) zur Leistungsreduzierung bei Schiffen über die zur Auslegung vorgegebenen Designbedingungen hinaus für realistische Betriebskollektive analysiert und diese Erkenntnisse zur Produktverbesserung mit Hinblick auf den realen Schiffsbetrieb für die Nutzung bereitgestellt.

Das Verbundvorhaben gliederte sich in folgende wesentliche Entwicklungsschritte:

AP1: Umweltbedingungen und Schiffszustände (TUHH, VDVB, MMG, SVA)

AP2: Entwurfszustände (TUHH, VDVB, MMG, SVA)

AP3: Entwurf der ESDs und der Schiffslinien (VDVB, TUHH, MMG, SVA)

AP4: Fertigung der Labormuster (SVA, MMG)

AP5: Laborversuche Basisvarianten (SVA)

AP6: Methodenentwicklung Entwurfsverfahren (TUHH, VDVB, MMG, SVA)

AP7: Analyse und Validierung der Basisvarianten im Operationsprofil (MMG, TUHH, VDVB, SVA)

„Entwurf von propulsionsverbessenden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen“

Teilvorhaben „Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

AP8: Optimierung ESD und der Schiffslinien für das Operationsprofil (VDVB, TUHH, MMG, SVA)

AP9: Validierungsversuche der optimierten Varianten im Operationsprofil (SVA)

AP10: Finale Analyse und Validierung der optimierten Varianten im Operationsprofil (MMG, TUHH, VDVB, SVA)

Folgende wesentliche Ergebnisse wurden im Verbundvorhaben erreicht:

Umweltbedingungen und Schiffszustände

Für die im Vorhaben zu untersuchenden propulsionsverbessernden Maßnahmen wurden zwei typische Schiffe definiert, die eine bestimmte Bandbreite von ESDs abdecken. Für beide Anwendungsfälle wurden Monte-Carlo-Simulationen zur Erzeugung von Betriebszustandskollektiven genutzt, wobei ein Betriebszustand aus einer Schwimmlage und einem Propulsions- und Manövrierpunkt besteht. Als Eingangsgrößen für die Monte-Carlo-Simulationen sind Verteilungsfunktionen für den Beladungszustand bzw. der aus dem Beladungszustand folgenden Schwimmlage und Verteilungsfunktionen für die Wetterzustände und sonstige Umgebungsbedingungen nötig. Die Monte-Carlo-Simulation liefert dann aus den Verteilungsfunktionen einen Eingangsvektor, bestehend aus Schwimmlage und Wetterbedingungen (Wind, Welle, Strömung), für die stationäre Manövrierberechnung. Die Manövrierberechnung wiederum liefert einen Betriebszustand bestehend aus Tiefgang, Trimm, Gleichgewichtspunkt der Propulsion, Ruderwinkel und Driftwinkel.

Aus der Berechnung einer großen Anzahl von Betriebszuständen ergeben sich Dichtefunktionen für die obengenannten Größen, aus denen sich dann die notwendigen Versuchspunkte für die durchzuführenden Laboruntersuchungen ergeben. Die Dichtefunktionen dienen gleichzeitig als Eingangsgrößen für die Auswahl und Optimierung der ESDs.

Die für die Monte-Carlo-Simulation notwendigen Eingangsgrößen wurden in Kooperation mit Reedereien für die ausgewählten Schiffstypen als typische Befrachtungsrouten (Beladungszustand) von Vergleichsschiffen identifiziert, die notwendigen Klimadaten wurden aus bekannten Klimastatistiken für Wind- und Wellendaten generiert bzw. aus Bordbeobachtungen genommen. Zur Validierung der berechneten Betriebspunktkollektive wurden aus den Propulsionsgleichgewichten mittlere tägliche Verbräuche berechnet, die wiederum mit den Noon-to-Noon Reports von Vergleichsschiffen abgeglichen wurden.

Entwurfzustände

Aus den Ergebnissen des AP1 wurden die Eingangsbedingungen für Entwurf und Optimierung der ESDs generiert. Es wurden entsprechend der Ergebnisse zwei Schiffstypen für die weiteren Untersuchungen ausgewählt. Für die relevanten Propulsionsparameter wie Drehzahl, Zuströmung, Driftwinkel, Ruderwinkel etc. standen aus AP1 statistische Verteilungen zur Verfügung, mit denen weitere Daten generiert werden konnten (z. B. Eingangsnachströme). Es ist natürlich praktisch nicht möglich, den Entwurf der ESDs für beliebige Mengen von Eingangsparametern durchzuführen. Daher musste in diesem Arbeitspaket eine überschaubare Menge von „Entwurfspunkten“ entsprechend ihrer Häufigkeit generiert werden, die für den Entwurf und für die Validierung der ESDs verwendet werden konnte. Die Wichtung der

„Entwurf von propulsionsverbessernden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen“

Teilvorhaben „Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

einzelnen Punkte ergab sich aus der bereits erzeugten statistischen Verteilung der Schiffsbetriebspunkte.

Aus den ermittelten Schiffsbedingungen heraus wurde ein entsprechendes Versuchsprogramm entwickelt.

Entwurf der ESDs und der Schiffslinien, Basisvarianten

Die von den Projektpartnern ausgewählten propulsionsverbessernden Maßnahmenkonzepte wurden mit den bei den Projektpartnern zur Verfügung stehenden spezifischen Entwurfsmethoden für die in AP2 ermittelten Entwurfspunkte des jeweiligen Vergleichsschiffes (ein Containerschiff und ein Bulker) entworfen. Hierzu kamen zunächst klassische, auf zwei- und dreidimensionaler Potentialtheorie basierenden Methoden zur Anwendung. Neben dem reinen Entwurf der ESDs wurden auch die von ihnen verursachten Verbesserungen der Propulsion in den Entwurfspunkten numerisch bestimmt und mit den Versuchsergebnissen verglichen.

Fertigung der Labormuster

Die entworfenen ESDs wurden im entsprechenden Modellmaßstab zusammen mit den Schiffsmodellen gefertigt. Es werden auch Varianten eines oder mehrerer ESDs gefertigt bzw. es wurden modulare Modelle gefertigt, so dass auch Varianten getestet werden konnten. Für die entworfenen ESDs wurde ein Messkonzept entwickelt und die entsprechenden Messsysteme wurden ausgesucht bzw. neu konstruiert. Die entwickelten Messsysteme zur Kraftmessung direkt an den ESDs wurden gefertigt und getestet.

Laborversuche, Basisvarianten

Die entworfenen ESDs wurden in einem umfangreichen Versuchsprogramm getestet. Dieses sah neben den Versuchen in Entwurfszustand vor allem Versuche in Off-Design Zuständen vor. Bei den Off-Design Zuständen handelte es sich um repräsentative Zustände aus Geschwindigkeit, Propellerbelastung, Tiefgang, Trimm, Driftwinkel und Ruderwinkel, die aus den im AP 2 kondensierten Betriebszuständen abgeleitet wurden. Als Referenz dienten hierbei jeweils Versuche ohne ESD. Das Messkonzept für Propulsionsversuche mit dem gierenden Schiff hat sich dabei bewährt. Mit allen ESDs werden Leistungseinsparungen im gesamten Geschwindigkeitsbereich im Designzustand erreicht. In den Betriebszuständen wurde ein deutlicher Einfluss der Betriebszustände auf die Leistung bei allen ESDs gemessen.

Methodenentwicklung für Entwurfsverfahren

Um im späteren Entwurfsalltag sichere Vorhersagen über das Verhalten der propulsionsverbessernden Maßnahmen im Operationsprofil eines Schiffes treffen zu können war es notwendig, die in AP 5 durchgeführten Laboruntersuchungen auch rechnerisch durchzuführen. Daher wurden, in diesem Arbeitspaket die vorhandenen Berechnungsverfahren angepasst und weiterentwickelt, um die Laborversuche nachrechnen zu können.

„Entwurf von propulsionsverbessenden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen“

Teilvorhaben „Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

Analyse und Validierung der Basisvarianten im Operationsprofil

Die durchgeführten Versuche wurden hinsichtlich verschiedener Aspekte ausgewertet. Hier-zu wurden mit Hilfe von CFD-Methoden die Versuche nachgerechnet. Die Modellversuchsergebnisse und die Ergebnisse der CFD-Berechnungen wurden verglichen und die CFD-Berechnungen mit Hilfe der Laboruntersuchungen validiert. Dies geschah sowohl für die Propulsionspunkte, also Propellerdrehzahl, Schub und Propulsionskoeffizienten, als auch für die an den ESDs im Versuch aufgezeichneten Kräfte und Momente.

Optimierung ESD und der Schiffslinien für das Operationsprofil

Aus den in AP7 gewonnenen Erkenntnissen über das Verhalten der ESDs in Off Design Zuständen wurden Designverbesserungen abgeleitet. Dies waren Detailverbesserungen, die aus den Details der mittels CFD gewonnenen Strömungslösung abgeleitet wurden, oder aus generellen Erkenntnissen über die Wirkweise des jeweiligen ESD im Off Design die zu Änderung von Hauptparametern führten um die angestrebte Wirkung auch im Off-Design zu erhalten. Für die Schiffsgometrie wurde auf Basis der tatsächlich gefahrenen Betriebszustände eine Optimierungsrechnung durchgeführt, die vor allem der Driftbewegung Rechnung trägt.

Validierungsversuche mit optimierten Varianten

Um die in AP8 durchgeführten Designänderungen und Optimierungen für die statischen Zustände zu validieren, wurden erneut Versuche wie in AP 6 durchgeführt. Dafür werden die optimierten ESD-Entwürfe als Modelle gefertigt. Mit den optimierten ESDs ist der Einfluss der Betriebszustände auf die Leistung verringert worden. Der Leistungsbedarf des Schiffes mit den ESDs ist bei Geradeausfahrt sogar etwas höher geworden, hat sich aber bei den Driftwinkeln erwartungsgemäß verringert. Trotzdem wurde eine Leistungseinsparung durch die ESDs über den größten Bereich der Betriebszustände festgestellt.

Analyse und Validierung der optimierten Varianten im Operationsprofil

Um zu einer Abschließenden Bewertung der optimierten ESDs und der Schiffslinien im Betriebsprofil zu kommen, wurden mit den nach der Optimierungsschleife gewonnen Ergebnissen erneut Monte-Carlo Simulationen im Betriebsprofil durchgeführt und die so gewonnen Dichtefunktionen der Treibstoffverbräuche den berechneten bzw. gemessenen Dichtefunktionen gegenübergestellt.

„Entwurf von propulsionsverbessenden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen“

Teilvorhaben „Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

3. Fortschreibung des Verwendungsplanes

3.1 Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen

keine

3.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Im Folgenden werden nur die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten des Teilvorhabens der SVA im Verbundvorhaben betrachtet.

Funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen

Die SVA wird die Ergebnisse für Schiffsentwürfe und Modellmessungen anwenden. Das Dienstleistungsangebot wird damit qualitativ verbessert und erweitert. Die SVA wird damit verstärkt am Markt partizipieren. Durch die Realisierung der im Vorhaben beschriebenen Arbeiten ergeben sich folgende Vorteile:

- Wirklichkeitsnahe Einschätzung des Leistungsbedarfs und damit des realen Treibstoffverbrauchs bei Schiffen und deren Ursache
- Erhöhung der Qualität der Beratungsleistungen bei Schiffsneuentwürfen und Auswahl von ESDs
- Optimierung von Schiffslinien im Hinblick auf das tatsächliche Betriebsprofil und der zu verwendenden ESD
- Die Entwicklung eines standardisierten Untersuchungskonzeptes führt zu einer effizienten, und für den Kunden kostengünstigen, Abarbeitung von Schiffsneubau- bzw. Refit-Projekten.

Den Kunden der SVA insbesondere den Werften, Ingenieurbüros, Herstellern von ESDs und den Betreibern von Schiffen, kommen die gewonnenen Erkenntnisse zu gute. Es wird dem Reeder oder Schiffseigner ein wettbewerbsfähigeres Produkt angeboten, während der betriebswirtschaftliche Nutzen insgesamt dem Schiffsbetreiber zufällt.

Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien

Die Verwertung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens wird in erster Linie durch die beiden Industriepartner Van der Velden Barkemeyer GmbH und Mecklenburger Metallguss GmbH stattfinden, die die erworbenen Erkenntnisse direkt für ihre Produkte anwenden können. Der Mehrwert durch die Berücksichtigung von Off-Design-Bedingungen im Design und den Nachweis der erhöhten Energieeinsparung wird die Marktchancen der Industriepartner erhöhen.

„Entwurf von propulsionsverbessenden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen“

Teilvorhaben „Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

Umsetzungs- und Transferstrategien

Die generelle Verwertung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens wird in erster Linie durch die Projektpartner stattfinden, die die erworbenen Erkenntnisse direkt für ihre Produkte anwenden können. Der Mehrwert kommt danach hauptsächlich den Schiffsbetreibern zugute, die im täglichen Schiffsbetrieb Kraftstoff sparen. Weiterhin wird ein Beitrag zum Schutz der Umwelt durch eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes geleistet.

Die Projektpartner sind durch die Entwicklung und die Demonstration der Zuverlässigkeit des DP-Systems in der SVA und zukünftig auch in der Großausführung in der Lage eigene Anwendungen für den Markt zu realisieren und die Simulationen zu validieren.

Die Vermarktung der Expertise der SVA erfolgt über den ständigen Kontakten zu Werften, Reedern, Ingenieurbüros, Instituten, öffentliche Einrichtungen usw. Durch die Veröffentlichung der Ergebnisse des FuE-Vorhabens in Berichten, Vorträgen, Veröffentlichungen und Messen, werden die potenziellen Kunden über den neuesten Stand der Technik und die Leistungsfähigkeit der SVA auf dem Gebiet der Anwendung von ESDs informiert.

Die Ergebnisse des FuE-Vorhabens wurden und werden in Teilberichten, im Schlussbericht und in Veröffentlichungen dargelegt. Außerdem werden die Resultate der Forschung und die Leistungen der SVA über die Angebote zu Anfragen der Industrie, Behörden usw. und bei der Akquirierung neuer Industrieaufträge gezielt angeboten. Dazu ist das erarbeitete Know-how auf dem Gebiet der Durchführung, Auswertung und Analyse von Versuchen mit ESDs auf Grund der steigenden Anforderungen hinsichtlich des Umweltschutzes von großer Bedeutung für die erfolgreiche Akquirierung von Aufträgen.

3.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Die Anforderungen an die energieeffiziente Transportleistung von Schiffen erhöhen sich ständig. Besonders im Hinblick auf die 2020 in Kraft tretenden Verschärfung des Energy Efficiency Design Index (EEDI) sind Reeder und Schiffseigner gezwungen, Maßnahmen zu ergreifen, die Schiffe möglichst energieeffizient zu betreiben. Die Ergebnisse des Projektes werden diesen gestiegenen Anforderungen Rechnung tragen, indem sie aufzeigen, welcher Weg zu einem realen, energieeffizienten Betrieb der Schiffe gegangen werden muss. Und dies unter Berücksichtigung von ESDs.

Die SVA entwickelt auf Basis von bewährter Messtechnik und jahrelanger Erfahrung mit numerischen Berechnungen verschiedene Komponenten zur hydrodynamischen Untersuchung von Schiffen weiter und verbindet sie mit den Anforderungen von energie-effizientem Transport von Gütern mit Schiffen. Auf Basis von erfolgreich durchgeführten Forschungsvorhaben und bestehenden Kooperationsabkommen wurden und werden die technischen Voraussetzungen geschaffen, die anvisierten Aufgaben erfolgreich bearbeiten zu können.

„Entwurf von propulsionsverbessenden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen“

Teilvorhaben „Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

Mit der Entwicklung eröffnen sich neue Möglichkeiten zur Untersuchung und Analyse des Leistungsbedarfs von Schiffen.

Die wissenschaftlich-technischen Erfolgsaussichten des Projektes sind als hoch einzustufen. Weitere Details zu den Erfolgsaussichten sind dem Leitantrag zu entnehmen.

Die SVA nutzt die gewonnenen Ergebnisse in Form von Know-how Transfer bei jedem Industrienauftrag. Der direkte Nutzen für die SVA ergibt sich durch die Akquirierung von Industrienaufträgen auf dem Gebiet der Untersuchungen von ESDs. Indirekt ergibt sich ein Nutzen für die SVA durch die Verbesserung der Reputation und den Nachweis der notwendigen Kenntnisse auf dem Gebiet der propulsionsverbessernden Maßnahmen, was dann wiederum zu Industrienaufträgen führt.

Die SVA Potsdam erzielte im vergangenen Jahr Umsätze von ca. 1,3 Millionen EURO aus Industrienaufträgen. Etwa. 1/3 dieser Umsätze beinhalteten Aufträge mit Untersuchungen zur Optimierung der Propulsionseigenschaften von Schiffen. Hierbei handelt es meist um Komplexaufträge bei denen die genannten Untersuchungen zunehmend zu einem Standardbestandteil geworden sind.

3.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die gewonnenen Erkenntnisse werden über die tägliche Arbeit und Zusammenarbeit mit der Schiffbauindustrie im Prozess der Auswahl, Optimierung und Anwendung von ESDs und der Entwicklung von Schiffslinien unter Off-Design genutzt.

Die SVA selbst vertreibt die gewonnenen Ergebnisse in Form von Know-how Transfer bei jedem Industrienauftrag. Der direkte Nutzen ergibt sich durch die Gewährleistung von Industrienaufträgen durch Versuchs- und Entwicklungsleistungen im Rahmen der Optimierung des Gesamtsystems Schiff und des Propulsionssystems.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens passen in das Gesamtkonzept der SVA, bei dem die Entwicklung auf dem Gebiet der Leistungseinsparungen von Schiffen ein Hauptbestandteil ist. Durch das erweiterte Know-how wird die Wettbewerbsfähigkeit der SVA auf diesem Gebiet weiter gefestigt.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden in Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern auf Fachkonferenzen und durch Beiträge in den einschlägigen Zeitschriften ("Hansa", "Schiff und Hafen", "Naval Architect" usw.) vermarktet.

„Entwurf von propulsionsverbessenden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen“

Teilvorhaben „Schiffsoptimierung unter Berücksichtigung von propulsionsverbessernden Maßnahmen bei Betriebsbedingungen (ESD@SHIP)“

4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

keine

5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Die Ergebnisse aus dem Beitrag der SVA sind für potentielle Nutzer über Teilberichte, Protokolle, Videomaterial zu den einzelnen Arbeitsschwerpunkten und Untersuchungsobjekten und den Schlussbericht zum FuE-Vorhaben verfügbar.

6. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Die Kosten- und Zeitplanung des FuE-Vorhabens wurde eingehalten.

Förderkennzeichen: 03SX436C

Datum: 30.04.2021

Tel.: 0331 56712 54

Kurzbezeichnung des Vorhabens: **Teilvorhaben zum FuE-Vorhaben
„Entwurf von propulsionsverbessernden Maßnahmen (Energy Saving Devices) bei Betriebsbedingungen (ESD@SEA)“**

Bewilligungszeitraum: 01.06.2017– 28.02.2021

Erfüllung der Ausübung der Verwertungspflicht durch den ZE gemäß Nebenbestimmungen zum Zuwendungsbescheid Nr. 4.2 BNBest – BMBF/ Nr. 9.2 NKBF 98

Lt. Verwertungsplan bestehen folgende Verwertungsmöglichkeiten

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Zeithorizont
1	Wirklichkeitsnahe Einschätzung des Leistungsbedarfs und damit des realen Treibstoffverbrauchs bei Schiffen und deren Ursache	12/2021
2	Erhöhung der Qualität der Beratungsleistungen bei Schiffsneuentwürfen und Auswahl von ESDs	06/2022
3	Optimierung von Schiffslinien im Hinblick auf das tatsächliche Betriebsprofil und der zu verwendenden ESD	12/2022
4	Durch die Entwicklung eines standardisierten Untersuchungskonzeptes effiziente, und für den Kunden kostengünstige, Abarbeitung von Schiffsneubau- bzw. Refit-Projekten.	12/2022