

12 Jahre Becker Mewis Duct®

12 Years Becker Mewis Duct®

Dipl.-Ing. **Friedrich Mewis**

Mewis Ship Hydrodynamics, MSH, Dresden

Summary. Within a period of only 12 years, the Becker Mewis Duct® (BMD) has become one of the most widely used hydrodynamic Energy-Saving Devices worldwide. By the end of 2021 more than 1.600 Becker Mewis Duct®s will have been ordered, with over 1.400 now in service. The average achieved power reduction is 5.7 %, resulting in estimated CO₂ savings to date of over 12 million tonnes.

The Becker Mewis Duct® was originally designed for fuller, slower types of vessels such as tankers and bulk carriers. This paper will detail further developments of the Becker Mewis Duct® for container ships, which was only possible through extensive use of advanced CFD methods. 2019 saw the installation of the Becker Mewis Duct® Twisted (BMDT) to the largest container ships in the world. At present there is an exceptionally large number of orders for Becker Mewis Duct® Twisted for very large container ships, including retrofitting and new-buildings.

Proof of the achieved power-savings by the BMD is provided by model tests. To date, this has resulted in nearly 300 series of tests being carried out at 14 different test facilities around the world. A summary of the results is given. Since some projects have also been investigated with other Energy-Saving Devices, comparisons with these are possible.

Zusammenfassung. Die Becker Mewis Duct® (BMD) hat sich innerhalb von nur 12 Jahren zu einer der weltweit am meisten genutzten hydrodynamischen Energy-Saving Devices entwickelt. Zum Ende des Jahres 2021 sind mehr als 1.600 Becker Mewis Duct®s bestellt und über 1.400 in Service. Die durchschnittliche Leistungsreduktion beträgt 5,7 %, die dadurch erzielten CO₂-Einsparungen sind bis heute mehr als 12 Millionen Tonnen.

Die Becker Mewis Duct® ist ursprünglich für völlige, langsame Schiffe wie Bulker und Tanker konzipiert worden. Im Beitrag wird über die Weiterentwicklung der Becker Mewis Duct® für Containerschiffe berichtet, die nur durch die qualifizierte Anwendung fortgeschrittener CFD-Methoden möglich war. Im Jahr 2019 wurden u.a. die größten Containerschiffe der Welt mit der Becker Mewis Duct® Twisted (BMDT) ausgerüstet. Zurzeit liegen für sehr große Containerschiffe Bestellungen von Becker Mewis Duct® Twisted sowohl zur Nachrüstung als für Neubauten in großer Zahl vor.

Der Nachweis der Leistungseinsparungen durch die BMD erfolgt über Modellversuche. Bisher sind dadurch fast 300 Versuchsserien in weltweit 14 verschiedenen Versuchsanstalten durchgeführt worden. Die Ergebnisse werden zusammengefasst wiedergegeben. Da einige Projekte auch mit anderen Energy-Saving Devices untersucht wurden, sind Vergleiche mit diesen möglich.

1. Einleitung

Die Becker Mewis Duct® (BMD) hat sich seit ihrer Erfindung vor 12 Jahren zu einer der erfolgreichsten Energy-Saving Devices (ESDs) der letzten Jahrzehnte entwickelt. Am Ende des Jahres 2021 sind mehr als 1.600 BMDs bestellt und mehr als 1.400 in Service. Die ersten BMDs wurden 2009 installiert und sind somit schon über 12 Jahre erfolgreich im Einsatz.

Hydrodynamische Energy-Saving Devices sind Vorrichtungen oder Bauteile, die in der Nähe des Propellers oder am Propeller angebracht werden, um die Propulsion zu verbessern, d.h. den Leistungsbedarf zu verringern oder auch das Schwingungsverhalten positiv zu beeinflussen.

ESDs werden schon seit über 100 Jahren zur Verbesserung der Propulsion verwendet. So berichtet Wagner, R. (1929) in einem auch heute noch lesenswerten Beitrag vor der 30. Hauptversammlung der STG über 25 Jahre Erfahrungen mit dem Contrapropeller.

Die Becker Mewis Duct® ist aus mehreren Gründen so erfolgreich:

- Die BMD zapft im Gegensatz zu den meisten bekannten ESDs mehrere Verlustquellen an. Es werden die Verluste im Nachstrom des Schiffes, die Rotationsverluste im Propellerstrahl und in geringerem Maße auch die Verluste im Nabenwirbel und im Spitzenwirbel des Propellers verringert. Damit sind die erzielten Gewinne höher als bei allen anderen ESDs.
- Die erzielten Leistungseinsparungen liegen zwischen 2 % und 9 %, sie sind nahezu unabhängig vom Tiefgang und der Geschwindigkeit.
- Leistungseinsparungen bedeuten Treibstoffeinsparungen und in gleichem Maße geringeren Ausstoß an CO₂. Bisher sind durch die BMDs insgesamt mehr als 12 Millionen Tonnen CO₂ eingespart worden.
- Auch der für Neubauten wichtige EEDI-Wert wird durch die BMD verringert.
- Von Beginn an wurden modernste CFD-Methoden für die Entwicklung, Optimierung und Modifizierung der BMD verwendet.
- Die BMD ist wegen ihrer geringen Drehzahldrückung außer für Neubauten auch für Nachrüstungen geeignet.
- Der Ölpreis war in den ersten Jahren nach der Einführung exorbitant hoch, mehr als doppelt so hoch wie in den 10 Jahren davor, wodurch die Entscheidung der Reeder zur Installation einer ESD begünstigt wurde.
- Die Firma Becker Marine Systems (BMS), Hamburg, ist von jeher ausgezeichnet geeignet, um komplizierte innovative Ruderanlagen für Schiffe zu entwickeln (begonnen 1955 mit der Erfindung des Becker Ruders durch Willi Becker). Auf dem Gebiet der Energy-Saving Devices hat sich BMS in den letzten 12 Jahren eine Spitzenstellung in der Welt erarbeitet.

Die Becker Mewis Duct® war zu Beginn für völlige, langsame Schiffe wie Tanker und Bulker konzipiert. Aber schon im Jahr 2012 wurde die erste für schnellere Schiffe wie Containerschiffe weiterentwickelte Becker Mewis Duct® Twisted (BMDT) an einem 7900 TEU Containerschiff realisiert, sie trug zunächst den Namen Becker Twisted Fin. Seit drei Jahren werden auch die größten Containerschiffe der Welt mit einer erneut erheblich modifizierten BMDT ausgerüstet. Über all diese Entwicklungen sowie über die Grundlagen und Voraussetzungen dafür wird im vorliegenden Beitrag berichtet.

Die Becker Mewis Duct® wurde im Jahr 2009 im Rahmen der STG-Hauptversammlung zum ersten Mal vor der STG vorgestellt, siehe Mewis, F. (2009).

2. Grundlagen

2.1 Verlustanalysen am Propeller

Um eine neue hydrodynamische Energy-Saving Device zu entwickeln, muss man die Verluste rund um den im Nachstromfeld des Schiffes arbeitenden Propeller kennen und verstehen, denn eine Verringerung der erforderlichen Antriebsleistung durch ESDs ist nur möglich, wenn die vorhandenen Verluste reduziert werden.

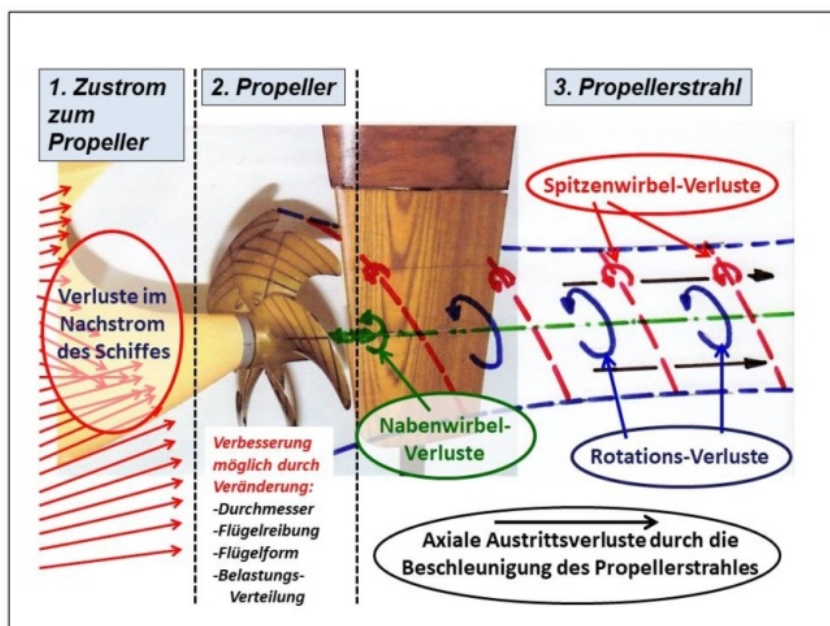


Abb.1. Verlustanalyse am arbeitenden Propeller

Für die drei definierten Strömungsgebiete: Zustrom zum Propeller, Propeller und Propellerstrahl gilt folgendes:

Der **Zustrom zum Propeller** setzt sich zusammen aus dem Nachstrom des Schiffes und den induzierten Geschwindigkeiten des Propellers selbst. Der Nachstrom eines Schiffes besteht aus dem Reibungsnachstrom infolge der Zähigkeit des Wassers und dem Potentialnachstrom (auch Verdrängungsnachstrom genannt) infolge der gekrümmten Stromlinien insbesondere des Hinterschiffes. Schlanke Schiffe haben einen geringen Potentialnachstrom.

Der Reibungsnachstrom ist der weitaus größere Anteil des Nachstroms. Der größte rückgewinnbare Energieanteil befindet sich im Nachstrom als langgestreckter Wirbel auf beiden Schiffsseiten infolge einer Linienablösung im Hinterschiff. Diese Wirbel sieht man sehr gut in gemessenen oder berechneten dreidimensionalen Nachstromfeldern, erkennbar als zwei Augen mit über oben nach innen drehender Richtung. Die Größe dieser Wirbel ist entscheidend für die Wirksamkeit von vor dem Propeller liegenden Strömungsleitflächen, zu denen auch Vordüsen gehören. Der Reibungsnachstrom lässt sich auch durch Glättung der Schiffsoberfläche deutlich verringern.

Der **Propeller** selbst ist hier nicht Gegenstand der Betrachtungen zur Vermeidung von Verlusten durch ESDs. Folgendes soll jedoch erwähnt werden: Die Reibungsverluste lassen sich wesentlich nur durch Verkleinerung der Flügelflächen verringern. Die Verbesserung der Flügelgeometrie oder die Krümmung der Flügelspitzen erfordern in jedem Fall einen neuen Propeller. Anders ist es bei Flügeln an der Propellernabe, diese können nachgerüstet werden und einen Gewinn bringen.

Im **Propellerstrahl** sind die axialen Austrittsverluste funktionsbedingt unvermeidbar und können eigentlich nur durch Vergrößerung des Propellerdurchmessers verringert werden. Die anderen Verluste im Propellerstrahl lassen sich durch Strömungs-Leiteinrichtungen (ESDs) reduzieren. Bis zu 2/3 der absoluten Wirbel-Verluste im Propellerstrahl können durch ESDs vermieden bzw. reduziert werden. Es sind also insgesamt maximal 5 bis 6 Prozent Einsparungen möglich.

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Größenordnung der Verluste um einen arbeitenden Schiffspropeller für zwei extrem große reale Schiffe. Die Zahlen gelten für frei fahrende Propeller, hinter dem Schiff sind die Werte geringfügig anders. Im unteren Teil der Tabelle 1 sind die aus Modellversuchen ermittelten Gewinne durch die Becker Mewis Duct® für die beiden analysierten Schiffe wiedergegeben. Der Umfang der erzielbaren Gewinne durch die Vordüse ist wesentlich abhängig vom Nachstromfeld, das sowohl durch die Nachstromziffer als auch durch die

Nachstromverteilung charakterisiert wird. Hohe Nachstromziffern bedeuten hohe Verluste und damit gute Bedingungen, um diese zu verringern. Genauso wichtig ist die Intensität des im Nachstrom sichtbaren Kimmwirbels. Große Kimmwirbel bedeuten hohe Verluste, aber auch gute Bedingungen für ESDs, den Leistungsbedarf zu verringern. Bei dem Containerschiff war wegen sehr guter Schiffslinien und der Schlankheit des Hinterschiffes aus dem Nachstrom nur wenig Gewinn zu erwarten, während bei dem Tanker etwa zwei Drittel des Gewinnes auf die Düse zurückzuführen ist.

Tabelle 1. Größenordnung der Verluste am Propeller in Prozent der aufgewendeten Leistung, und gemessene Leistungseinsparungen mit BMD bzw. BMDT für 2 Beispiele

Schiffstyp > Schiffsdaten / Bezeichnungen	Containerschiff 23.000 TEU	Bulk Carrier 286.000 DWT
Völligkeitsgrad C_B	0,726	0,829
Länge x Breite x Tiefgang (m^3)	393,9 x 61,3 x 16	315 x 57,2 x 20,8
Propellerdurchmesser (m)	10,1	10,0
Geschwindigkeit (kn)	22,0	14,5
Axialer Austrittsverlust (%)	18	27
Flügelreibung (%)	7	5
Rotationsverlust im Propellerstrahl (%)	5	4
Spitzenwirbel-Verlust (%)	2	2
Nabenwirbel-Verlust (%)	2	2
Modellversuchsergebnisse für diese Schiffe		
Versuchsanstalt	MARIN	HSVA
Typ der Becker Mewis Duct®	BMDT	BMD
Schubbelastungsgrad C_{Th}	1,10	2,14
gemessene Nachstromziffer	0,157	0,339
ermittelte Leistungseinsparung (%)	3,0	7,6
Einsparung durch Düse allein (%)	0,5	5,0
Einsparung durch Fin-System (%)	2,5	2,6
Bemerkungen: Alle Prozent-Angaben sind % der Antriebsleistung		
Alle roten Zahlen sind Modell-Versuchsergebnisse		

Eine wichtige physikalische Gegebenheit sollte man immer berücksichtigen: Mit ESDs kann man wegen der inhomogenen Strömungsbeeinflussung Verluste nur bis zu maximal 2/3 reduzieren, und das jeweils nur einmal. Wenn zwei ESDs, die auf die gleiche Verlustquelle zielen, gleichzeitig an einem Schiff installiert werden, können beide nur einen Teil Ihres einzeln möglichen Gewinnes erzielen, siehe dazu auch Abschnitt 5.

Einen wertvollen Beitrag zu den Verlusten rund um den arbeitenden Propeller hat Dyne, G. (1983) anlässlich der Eight WEGEMT School veröffentlicht.

2.2 Nutzung von Erfahrungen

Ganz wichtig ist weiterhin die Analyse und Verwertung von fast 200 Jahren Erfahrung bei der Verbesserung der Propulsion von Schiffen; Ericsson, J. (1836) hat z.B. schon damals die ersten Gegenlaufpropeller entworfen und patentieren lassen. Realisiert wurde diese Idee für Handelsschiffe erst sehr viel später. Gegenlaufpropeller sind keine ESDs im eigentlichen Sinn, zeigen aber das Potential der Verringerung der Rotationsverluste und der Propellerbelastung zur Verbesserung der Propulsion.

Die Geschichte der realisierten Energy-Saving Devices ist mehr als 100 Jahre alt. Es gibt eine Vielzahl von Ideen und Ausführungen, die sich entweder auf die Verbesserung des Schiffsnachstroms oder auf

die Verringerung der Wirbelverluste im Propellerstrahl konzentrieren, häufig nur auf einen der Verluste im Propellerstrahl, z.B. Nabenwirbel oder Spitzenwirbel. Es ist aber festzuhalten, dass es nicht auszuschließen ist, dass neben dem offensichtlichen Einsparungsziel noch ein weiterer Verlust reduziert wird, so dass Gewinne höher sein können als die erwähnten 2/3 der analytisch selektierten Verluste gemäß Tabelle 1 (Beispiel: die PBCFs verringern den Nabenwirbel und in geringerem Maße die Rotation im Propellerstrahl).

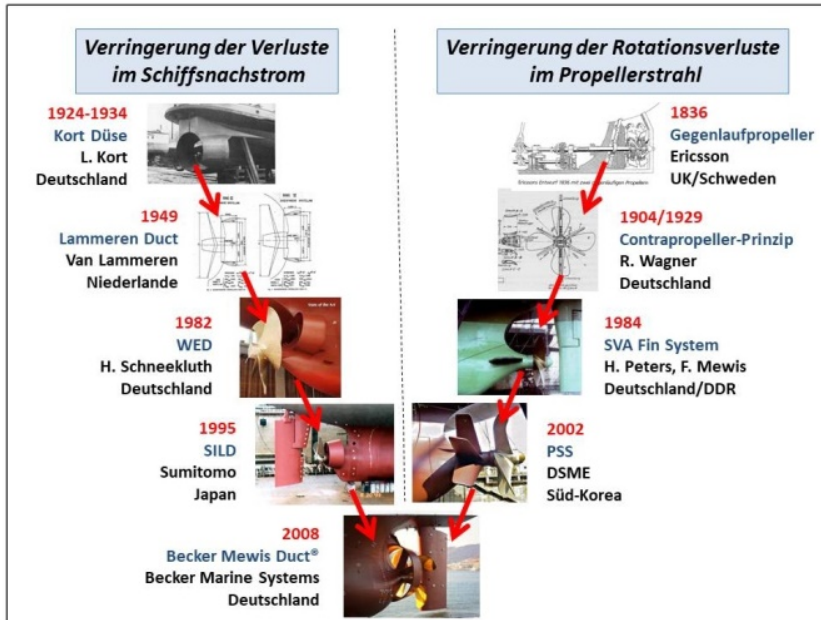


Abb. 2. Vorgeschichte der Becker Mewis Duct®

In der Abbildung 2 sind die wichtigsten Erfindungen beider Entwicklungszweige, Vordüsen und Fin-Systeme vor dem Propeller, wiedergegeben.

Meilensteine sind bei der Geschichte der Vordüsen:

- 1924-1934, Erfindung der Kort Düse durch Ludwig Kort, siehe Roscher, K. (1938)
- 1949, Erfindung der Vordüse durch Van Lammeren, W.P.A. (1949)
- 1982, Schneekluth Düse, WED; Schneekluth, H. (1986)
- 1995, Sumitomo Integrated Lammeren Duct, SILD; Sasaki, N., et al. (1997).

Und bei der Geschichte der Fin-Systeme vor dem Propeller:

- 1836, Erfindung des Gegenlaufpropellers durch Ericsson, J. (1836)
- 1904, Contrapropeller-Prinzip, Wagner, R. (1929)
- 1984, SVA Fin System; Peters, H. und Mewis, F. (1986)
- 1985, 2002, Pre-Swirl Stator, PSS; Lee, J.T. et al. (1992).

Eine fast vollständige Übersicht über aktuelle und auch ältere ESDs findet man in einem Buch, herausgegeben von Fathom (2013) und in einem Artikel von Gougoulidis, G. et al. (2015).

3. Die Becker Mewis Duct®

Die Becker Mewis Duct® besteht aus zwei voneinander unabhängig wirkenden Elementen, einer Vordüse und einem darin integriertem Fin-System:

Die **Vordüse** ist so dicht wie möglich vor dem Propeller platziert. Sie hat die Aufgabe, die Anströmgeschwindigkeit zum Propeller in den inneren Radien zu beschleunigen. Sie ist vertikal nach

oben verschoben, um die Anströmgeschwindigkeit hauptsächlich im oberen Teil der Propellerebene, wo der Zustrom am langsamsten ist, zu erhöhen und durch die Asymmetrie die Spur des Düsennachlaufes zu verteilen. Die Düse ist deutlich kleiner als der Propeller.

Das **Fin-System** besteht aus 4 bis 5 Fins, die unsymmetrisch angeordnet sind. Es hat die Aufgabe, einen Gegendrall (Vordrall) in den inneren Radien der Propellerzuströmung zu erzeugen. Mindestens drei der Fins sind auf der aufschlagenden Seite des Propellers platziert (siehe Abbildung 4), wo die Strömung ohne Fins energetisch ungünstig auf den Propeller trifft. Die Profillänge der Fins ist kürzer als die der Düse. Alle Fins haben das gleiche Profil.

Die Realisierung der oben wiedergegebenen Überlegungen soll dazu führen, dass Gewinne durch die Reduzierung der Verluste aus beiden Verlustgruppen erzielt werden:

- Verringerung der Verluste im Nachstrom des Schiffes durch Anordnung einer Vordüse,
- Verringerung der Drallverluste im Propellerstrahl durch Anordnung eines unsymmetrischen Fin-Systems innerhalb der Düse,
- Verkleinerung des Nabenwirbels durch den vor allem innen wirkenden Vordrall, so dass ein weiterer Gewinn erzielt wird,
- die Homogenisierung des Nachstromfeldes führt zur Entlastung der Propellerspitzen, wodurch die Spitzenwirbel verringert werden.

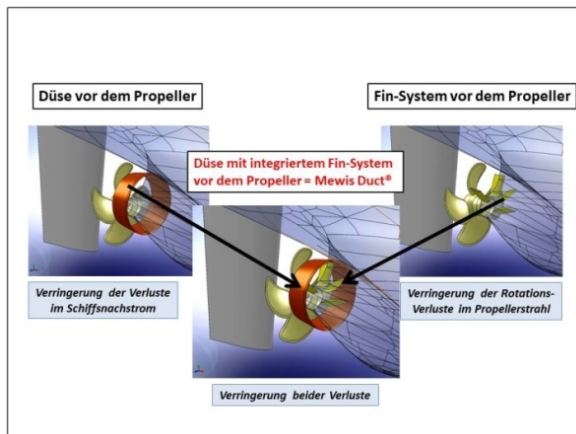


Abb. 3. Elemente der Becker Mewis Duct®

Wichtige Nebeneffekte der Becker Mewis Duct® sind:

- Die beiden Hauptelemente der BMD wirken bezüglich der Drehzahländerung entgegengesetzt, so dass die Drehzahländerung weniger als zwei Prozent beträgt. Dadurch kann die BMD meistens problemlos nachgerüstet werden.
- Die Wirkung der BMD ist nahezu unabhängig von Tiefgang und Geschwindigkeit. Im Ballasttiefgang ist der Gewinn im Mittel 1,6 % höher.
- Durch die BMD werden die Kursstabilität des Schiffes und auch die Drehzahlstabilität des Propellers im Seegang verbessert.
- Durch die Entlastung der Propellerspitzen wird das Kavitationsverhalten verbessert und die Schwingungserregung deutlich reduziert.

Die genannten Nebeneffekte wurden in Modellversuchen und Messungen in der Großausführung nachgewiesen und durch Beobachtungen auf vielen Schiffen bestätigt. Diese Ergebnisse wurden 2014 ausführlich in einem Vortrag vor dem STG-Fachausschuß Schiffshydrodynamik dargelegt, siehe Mewis, F. (2014).

4. Geschichte der Becker Mewis Duct®

Nach einem Jahr Vorbereitungsarbeiten, bestehend aus hydrodynamischen Überlegungen, Patent-Recherchen, ersten CFD-Rechnungen und ersten Überlegungen zur Konstruktion, wurde im Frühjahr 2008 ein Patent formuliert und am 17.06.2008 angemeldet. Das Patent „Vorrichtung zur Verringerung der Antriebsleistung eines Schiffes“, Patent Nr. EP 2 100 808 B1 wurde am 25.06.2011 erteilt. In der Abbildung 4 ist die Fig. 2 aus der Patentschrift wiedergegeben.

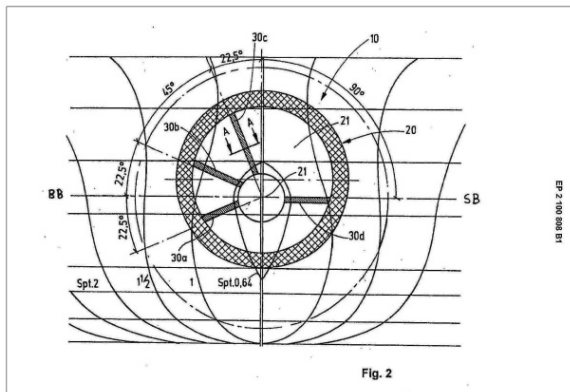


Abb. 4. Fig. 2 aus dem ersten Patent zur Becker Mewis Duct®, 2008

Bereits im September 2009 wurde die erste Becker Mewis Duct® an einem Schiff installiert, siehe Abbildung 5. Es handelte sich um einen 47.000 tdw Mehrzweckfrachter STAR ISTIND der norwegischen Reederei Grieg Shipping Group. Der im Modellversuch ermittelte Gewinn von 6,0 % im vollbeladenen Zustand und 5,4 % im Ballastzustand wurde in der Großausführung sicher bestätigt. Die erste BMD wurde aufmerksam durch vielfache Tauchinspektionen beobachtet und ist nach über 12 Jahren unversehrt im Einsatz.

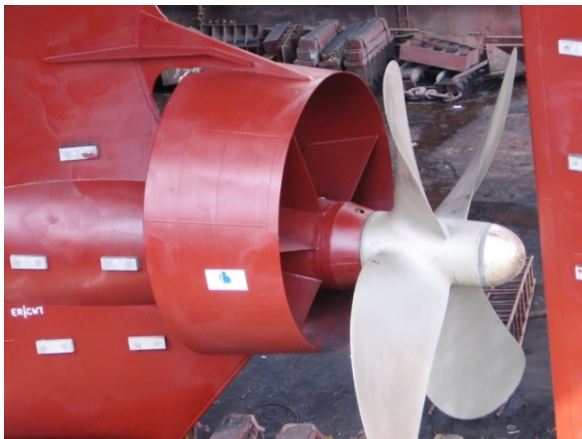


Abb. 5. Erste installierte BMD an der STAR ISTIND, 47.000 tdw MPC, Leistungseinsparung durch BMD: 6,0 %, September 2009, Foto: BMS

Die gesamte Entwicklung wurde von immer verllässlicher werdenden umfangreichen CFD-Berechnungen begleitet und vorangetrieben. Ohne die konsequente Nutzung der Möglichkeiten durch die CFD hätte die Weiterentwicklung nicht so zielsicher erfolgen können. Die CFD-Rechnungen wurden von Beginn an von der kleinen Rostocker Firma IBMV durchgeführt. Im Laufe der 12 Jahre hat sich IBMV zu einem Kompetenzzentrum für schiffbauliche CFD-Anwendungen entwickelt.

In den Abbildungen 6 bis 8 sind beispielhaft drei errechnete Nachstromfelder (Schiff ohne Anbauten, mit Düse allein, mit kompletter BMD) in einer Ebene zwischen der Düse und dem laufenden Propeller für die Großausführung wiedergegeben. Der Propeller dreht über oben nach rechts. Schon ein einfacher Blick auf die Bilder zeigt den Einfluss der BMD auf die Strömungsfelder. Das Schiff ohne Anbauten besitzt in dieser Ebene durch die induzierten Geschwindigkeiten des Propellers einen Mitdrall von 3,4 % der Schiffsgeschwindigkeit. Die Düse allein verändert daran wenig. Durch die Fins wird ein Gegendrall von -5,9 % erzeugt (minus ist definiert als gegen die Drehrichtung des Propellers). Dieser Vordrall ist wesentlich konzentriert auf die inneren Bereiche des Propellers, wodurch sich auch die Verringerung des Nabenwirbels erklärt, siehe dazu auch Abschnitt 5 und Tabelle 3.

Bei diesem gewählten Beispiel wurde eine Leistungseinsparung durch die BMD von 6,0 % bei gleicher Geschwindigkeit (15,42 kn) bzw. ein Geschwindigkeitsgewinn von 1,75 % (0,27 kn) bei gleicher Leistung erzielt. Die Drehzahlreduktion betrug 0,7 % bei gleicher Leistung.

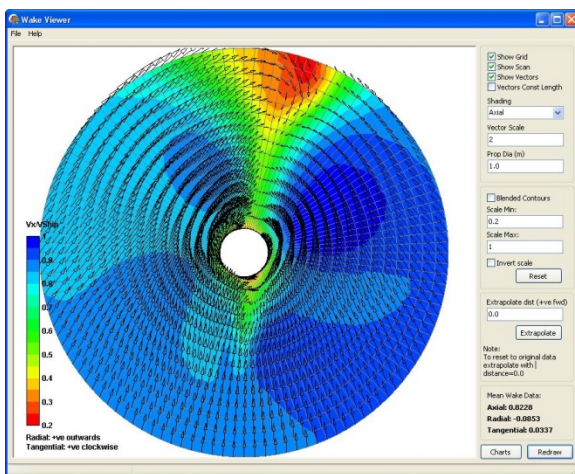


Abb. 6. Berechnetes Strömungsfeld ohne Anbauten

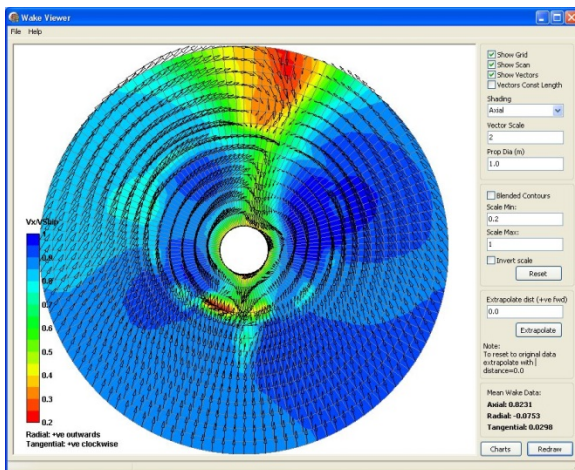


Abb. 7. Berechnetes Strömungsfeld mit Vordüse allein

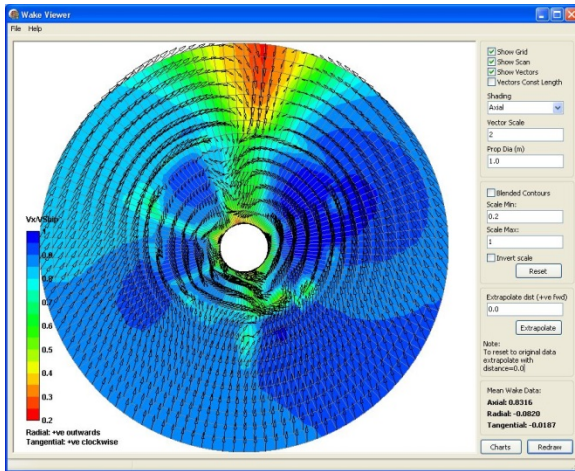


Abb. 8. Berechnetes Strömungsfeld mit kompletter BMD

Die Ergebnisse der CFD-Rechnungen bieten die Möglichkeit, in jeder beliebigen Ebene Strömungsfelder darzustellen, Druckverläufe im gesamten Berechnungsgebiet kenntlich zu machen, Kräfte zu berechnen und vieles andere mehr. Mit Können und viel Erfahrung lassen sich zwischen feinsten Varianten von ESDs Unterschiede erkennen und Leistungsdifferenzen berechnen.

Ausführliche Informationen zu den angewandten CFD-Techniken findet man bei Guiard, T. et al. (2013) und Ferguson, S. (2016).

In den Jahren 2011 und 2012 wurde die BMD für schnellere Schiffe wie Containerschiffe weiterentwickelt. Der neue Name war zunächst Becker Twisted Fin (BTF), nach drei Jahren wird sie als Becker Mewis Duct® Twisted (BMDT) bezeichnet. Die BMDT unterscheidet sich erheblich von der BMD. Die Düse ist kleiner und schmäler, die Fins sind nach außen durch die Düse verlängert und twistiert. Alle Bauteile sind deutlich feiner, siehe dazu Abbildung 9.

Da Propeller von Containerschiffen bei sehr viel kleineren Schubbelastungsgraden arbeiten als bei Tankern und außerdem Containerschiffe sehr schlanke Hinterschiffe besitzen, sind die erzielbaren Gewinne durch ESDs deutlich kleiner als für völlige Schiffe. Mit der BMDT können zwischen 2 und 4 % Leistungseinsparungen erreicht werden.



Abb. 9. Die erste installierte BMDT (BTF) an einem 7.090 TEU Containerschiff der Reederei Hamburg Süd, Leistungseinsparung durch BMDT: 3,8 %, Dezember 2012, Foto: BMS

Für die immer größer werdenden Containerschiffe zeigten die Berechnungen, dass ein großer Teil der Düse auf der abschlagenden Seite des Propellers mehr Widerstand als Schub erzeugte. Deshalb wurde die Düse nach und nach zu einem Teilring, der im vorgestellten Beispiel nur noch 140° auf der aufschlagenden Seite des Propellers umfasst. Das ist der Bereich der vier Fins, die die BMDT und auch die BMD von Beginn an hatten. Es gibt 4 innere und 3 äußere Fins, die Flügelspitzen sind als Winglets leicht gekrümmt ausgeführt, siehe dazu Abbildung 10. Da der Bildausschnitt nicht optimal ist, wurde zur besseren Übersicht in der unteren Ecke ein Foto des Modells der BMDT eingefügt.

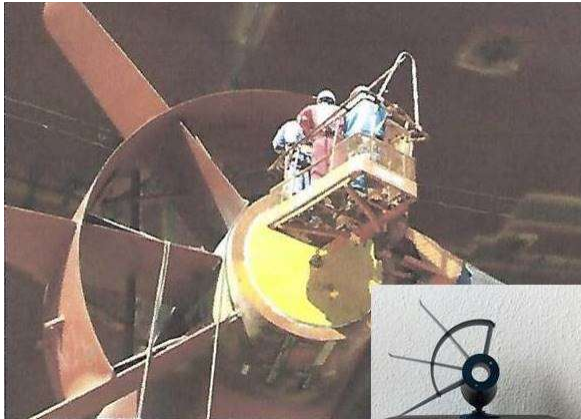


Abb. 10. Die neue BMDT am 23.000 TEU Containerschiff JAQUES SAADE der französischen Reederei CMA CGM, Leistungseinsparung durch BMDT: 3,0 %, September 2020, Fotos: BMS und MSH

Seit 2017 sind diese neuen BMDTs an mehreren sehr großen Containerschiffen installiert worden. Im Jahr 2019 wurden u.a. die größten Containerschiffe der Welt mit der Becker Mewis Duct® Twisted (BMDT) ausgerüstet, siehe Abbildung 10. Zurzeit liegen für sehr große Containerschiffe Bestellungen von Becker Mewis Duct® Twisted sowohl zur Nachrüstung als für Neubauten in großer Zahl vor.

In der Abbildung 11 sind alle Bestellungen der Becker Mewis Duct® über die Jahre seit 2009 zusammengestellt. Im Jahre 2009 waren 4 Bestellungen eingegangen und im Jahr 2010 schon 61. Im Jahr 2012 wurden die ersten 10 BTF (BMDT) bestellt, am Ende des Jahres 2021 sind insgesamt mehr als 1.600 BMDs, davon 122 BMDTs, bestellt und mehr als 1.400 installiert.

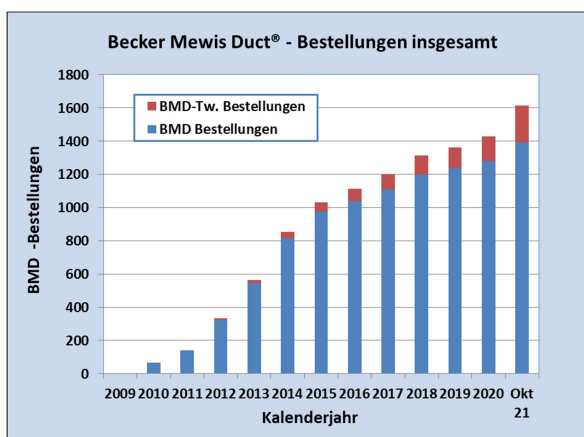


Abb. 11. Übersicht der Bestellungen (kumulativ) der Becker Mewis Duct®, 2009 - 2021

An dieser Stelle ist es angebracht, die Anzahl der Realisierungen im Vergleich mit anderen bekannten ESDs zu relativieren. In der Tabelle 2 sind bekannte und erfolgreiche ESDs der letzten 100 Jahre zusammengestellt. Bei den Realisierungszahlen ist zu beachten, dass nach 20 Jahren jedes Patent nachgebaut werden kann und dass häufig bereits davor ähnliche Vorrichtungen unter anderem

Namen vertrieben werden. In der Tabelle sind nur die Realisierungen der originalen Erfindungen berücksichtigt.

Tabelle 2. Realisierung von bekannten ESDs der letzten 100 Jahre

Realisierung von bekannten hydrodynamischen Energy-Saving Devices							
Name des Produktes	Erfinder	Land	Patent	Erste	Anzahl der Bestellungen nach erster Realisierung		
			Einreichung	Realisierung	10 Jahre	20 Jahre	30 Jahre
			Jahr	Jahr	10 Jahre	20 Jahre	30 Jahre
Contrapropeller	Wagner, R.	DE	1905 (?)	1920	428 <i>nach 8 Jahren</i>	?	?
Costa Rudder Bulb	Costa, L.	PT/CH	1929 (?)	1953	>600 <i>nach 7 Jahren</i>	sehr viele	sehr viele
Pre Duct	Van Lammeren, W.	NL	1949 (?)		wahrscheinlich keine Realisierung		
Grimshes Leitrad	Grim, O.	DE	1966	1980	60	60	60
Schneekluth Düse, WED	Schneekluth, H.	DE	1983	1984	668	ca. 1100	sehr viele
PBCF	Mitsui, Ouchi, K.	JP	1986 (?)	1987	ca. 350	ca. 1500	sehr viele
SVA Fin System	Peters, H., Mewis, F.	DE	1986	1987	5	5	5
DSME Pre-Swirl Stator	Lee (?)	KR	1985	1992	unbekannte Zahl an Realisierungen		
DSME Pre-Swirl Stator	Kim (?)	KR	2002	2003 (?)	>80	-	-
SILD	Sumitomo	JP	1995	1996	unbekannte Zahl an Realisierungen		
Vorgänger zu RBS-F	Kawasaki	JP	1978	1980 (?)	>40 nach 15 Jahren		?
RBS-F	Kawasaki	JP	2006	2007	>100 <i>nach 5 Jahren</i>	-	-
Becker Mewis Duct	Mewis, F.	DE	2008	2009	>1300	-	-
Pre-Shrouded Vanes	CMES-Tech	CN	2013	2012 (?)	191 <i>bis 2017</i>	-	-

Auch die Becker Mewis Duct® wurde schon nach wenigen Jahren in China nachgebaut, dort gab es mehrere Entwicklungslinien. Durch Initiative eines Kollegen einer europäischen Versuchsanstalt wurde die BMD unter dem Namen „Pre-Duct with Stator“ in China eingeführt. Sie heißt dort auch „Ducted Pre-Swirl Stators“ oder „Pre-Shrouded Vanes“ oder noch anders. Der Wissenstransfer lief über ein gemeinsames Forschungsvorhaben dieser europäischen Versuchsanstalt mit einer Versuchsanstalt in Shanghai und einer chinesischen Werft. Immerhin wurden die Ergebnisse veröffentlicht, siehe Dang, J. et al. (2011). Die Ergebnisse sind von guter Qualität, Auszüge davon sind in der Tabelle 3 wiedergegeben.

Im Jahr 2015 wurde in Shanghai unter dem Dach der CSIC die Firma CMES-Tech gegründet, die aufbauend auf den Erfahrungen von CSDC Shanghai ausschließlich ESDs entwickelt und verkauft. Gemäß der aktuellen Website bietet CMES außer der Schneekluth Düse, WED (neuer Name: WID®) eine Modifikation der PBCF (neuer Name: HVAF®) und eine Weiterentwicklung der Becker Mewis Duct® an, die den Namen PSV® trägt. Dieses Produkt ist eine geschickte Patentumgehung der BMD, siehe dazu auch CSDC/CSIC (2014). Festzustellen ist, dass bei keinem dieser Produkte die eigentlichen Erfindungen bzw. Erfinder genannt werden, wie es international meistens üblich ist.

Auch SDARI hat eine eigene Umgehung des Patentbesitzes vorgestellt, hier ist bemerkenswert, dass diese ESD, obwohl sie erheblich modifiziert ist, „Mewis duct“ heißt, siehe dazu Chang, X. et al. (2019).

Da nahezu alle Aktivitäten hierzu in Shanghai stattfanden, ist anzunehmen, dass es viele Querverbindungen zwischen den Entwicklern gab. Uns ist nicht bekannt, wie viele Male BMD-Nachbauten in China insgesamt an Schiffen installiert wurden.

Ähnliche Entwicklungen gab es auch in Südkorea, auch hier ist nicht bekannt wie viele BMD-Nachbauten realisiert wurden.

5. Modellversuche

Zur Strategie der Becker Marine Systems GmbH in Hamburg gehört es, den Nachweis der Wirksamkeit der Becker Mewis Duct® durch Modellversuche zu gewährleisten. Das hat dazu geführt, dass bis heute für ca. 250 Projekte Propulsionsversuche in weltweit 14 verschiedenen Versuchsanstalten durchgeführt worden sind. Dazu kommen Kavitations-Vergleichsversuche, Seegangs- und Manövrierversuche. Die Daten der ersten 43 Projekte sowie ein Erfahrungsbericht werden in Mewis, F. (2012) wiedergegeben.

In den ersten Jahren wurden die Propulsionsversuche neben dem Nachweis der erzielten Einsparung auch zur Optimierung der Düsengeometrie, der Finwinkel und zur Ermittlung der Wirkung der einzelnen Bauteile der BMD genutzt. Durch die große Zahl der Versuchsergebnisse liegt eine umfangreiche, wertvolle Datensammlung vor, die in vielen Richtungen auswertbar ist.

Von besonderem Interesse waren die Ergebnisse der Modellversuche für den Fall „Düse allein“, siehe Abbildung 12. Sie zeigten folgende Leistungseinsparungen:

- Düse allein 0 bis 6 %

Die Gewinnmöglichkeiten für den Fall Düse allein sind wesentlich vom Nachstromfeld, d.h. von der Güte der Schiffslinien abhängig, es gilt generell: je schlanker das Hinterschiff, desto weniger Gewinn ist durch die Düse möglich.

Die komplette BMD ergibt aus den Modellversuchen Einsparungen von:

- Komplette BMD 2 bis 9 %

Das Fin-System wirkt immer, es verringert stets die Rotationsverluste im Propellerstrahl und meistens den Nabenwirbel und den Spitzenwirbel. Die Einsparungen liegen bei:

- Fin-System 2 bis 5 %

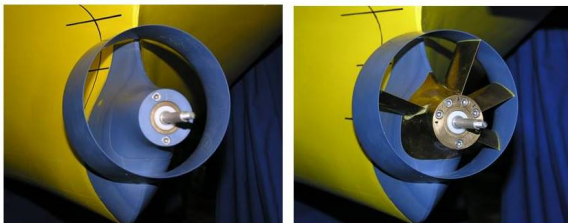


Abb. 12. Versuchsanordnung, links: „Düse allein“, rechts: komplette BMD, Propeller über oben nach links drehend, Fotos: SSPA

Zunächst soll in zwei Abbildungen der Umfang der vorhandenen Datenpunkte gezeigt werden. In der Abbildung 13 sind die Versuchsergebnisse der Jahre 2008 und 2009 wiedergegeben. Die Ergebnisse der ersten vier Projekte waren allesamt Glückstreffer, alle Punkte lagen über der Prognosekurve aus dem Jahr 2008. Eine spätere Analyse dieser Ergebnisse ergab, dass diese vier Schiffe mehr oder weniger keine perfekten Schiffslinien hatten.

Als Parameter wurde der Schubbelastungsgrad gewählt,

$$C_{Th} = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho \cdot V_A^2 \cdot D^2 \cdot \pi/4}$$

(worin T der Propellerschub, ρ die Dichte des Wassers, V_A die Anströmgeschwindigkeit und D der Propellerdurchmesser sind)

weil die Verluste am Propeller, gemäß Tabelle 1, wesentlich von diesem abhängig sind. Die Wahl war richtig, wie die Trendlinien in Abbildung 14 zeigen.

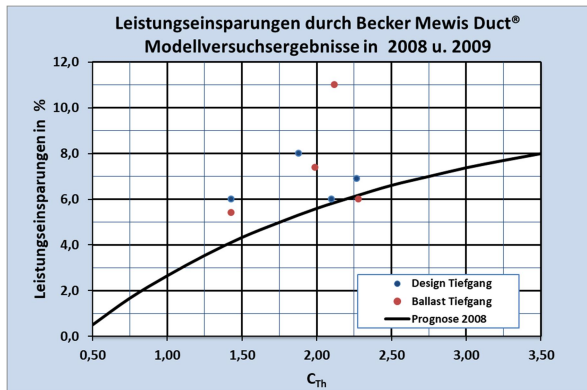


Abb. 13. Modellversuchsergebnisse bis 2009

In der Abbildung 14 sind die Ergebnisse der 202 Projekte bis zum Jahr 2016 wiedergegeben. Nun sind nicht mehr alle Ergebnisse oberhalb der Prognosekurve 2008. Die Trendkurven zeigen jedoch, dass die Prognose für den Designtiefgang fast genau war, im Ballasttiefgang werden um 1,6 % bessere Ergebnisse erzielt. Die scheinbar großen Streuungen können auf mehrere Ursachen zurückgeführt werden:

- Güte der Schiffslinien (verifizierbar über das Nachstromfeld)
- Güte und Art des Propellerdesigns
- Güte des Designs der Becker Mewis Duct®
- Ungenauigkeit der Messungen und Prognosen der Versuchsanstalten

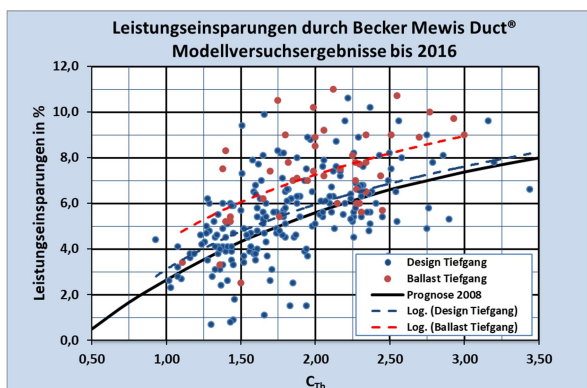


Abb. 14. Modellversuchsergebnisse bis 2016

Der Mittelwert des Designtiefganges für alle Messungen beträgt 5,5 % Leistungseinsparung, 3,2 % für die Becker Mewis Duct® Twisted und 5,7 % für die BMD. Für den Ballastzustand liegt der Mittelwert aller Messungen bei 7,3 % Leistungseinsparung. Bemerkenswert ist auch, dass es kein Projekt gibt, bei dem kein Gewinn erzielt wurde.

Außer dem direkten Ziel aller Versuche, dem Nachweis der Leistungseinsparungen durch die BMD, liegt inzwischen eine große Zahl von Nebenergebnissen vor, die hier nur stichpunktartig zusammengestellt werden:

- Die gemessenen Gewinne sind nahezu unabhängig von der gewählten Versuchsanstalt und deren Mess- und Auswertmethoden.
- Die Genauigkeit steigt mit der Größe der Modelle.
- Die Interaktionen zwischen verschiedenen ESDs sind größer als erwartet. Bei Versuchen mit mehreren ESDs muss sehr genau gearbeitet werden, wenn die Wirkung der einzelnen ESDs

richtig ermittelt werden soll. Für dieses Ziel ist es notwendig, jede ESD einzeln zu untersuchen.

- Wenn nicht jede einzelne ESD gemessen wird und die verglichenen ESDs auf die gleiche Verlustquelle zielen, wird nur für die zuerst untersuchte der richtige Gewinn ermittelt.
- Wenn ein Schiff mit einer weit vor dem Propeller angebrachten wirksamen Leiteinrichtung ausgerüstet ist (das ist in Japan bei sehr vielen neuen Schiffen so), kann auch mit einer BMD nicht der volle mögliche Gewinn erzielt werden, wenn sie zusätzlich installiert wird.

Die Versuchsergebnisse, die in den Tabellen 3 und 4 zusammengestellt sind, geben die letzten drei Aussagen eindeutig wieder.

In der Tabelle 3 sind Ergebnisse von Versuchen wiedergegeben in denen die BMD mit einer PBCF oder deren Nachbauten kombiniert wurden. Es ist eindeutig zu erkennen, dass durch die weiter vorn liegende BMD die möglichen Gewinne durch die PBCF mindestens halbiert werden oder sogar ganz verschwinden. Damit ist die Behauptung belegt, dass die BMD den Nabenwirbel reduziert.

In der Tabelle 4 sind einige Ergebnisse von Kombinationen verschiedener ESDs mit der Becker Mewis Duct® zusammengestellt. Auch hier zeigt sich, dass die Gewinne einzelner ESDs nicht einfach addiert werden können, weil Verluste nur einmal verringert werden können.

Tabelle 3. Versuchsergebnisse von Kombinationen der BMD mit einer PBCF

Schiffstyp Typ der ESD	Versuchsanstalt	Leistungs- Einsparung
BMD + PBCF (Japan), (Fins an der Propellernabe)		
80.000 tdw Bulker	MARIN, Wageningen, NL	
Quelle: Dang J. et al. (2011)		
BMD allein		6,0%
PBCF allein		2,0%
BMD + PBCF		7,0%
115k Tanker	SSPA, Göteborg, SE	
BMD allein		4,1%
BMD + PBCF		4,1%
BMDT + ESCAP® (ähnlich PBCF) oder Ruderwulst		
22.000 TEU Containerschiff	MARIN, Wageningen, NL	
Quelle: Eigene Versuche		
Alle Versuche mit Becker Twisted Rudder; (ESCAP® ist ähnlich PBCF)		
BMDT allein		3,0%
BMDT + ESCAP®	(ESCAP® von MMG)	2,3%
BMDT + Ruderwulst	(Ruderwulst von BMS)	3,0%
PSV (ähnlich BMD) + HVAF (ähnlich PBCF)		
400.000 tdw VLOC	MARIN (?), Wageningen, NL	
Quelle: www.cmes-tech.com, 29.1.2018		
PSV allein	(PSV ist ähnlich BMD)	4,8%
HVAF allein	(HVAF ist ähnlich PBCF)	2,2%
PSV + HVAF		5,6%

Tabelle 4. Versuchsergebnisse von Kombinationen der BMD mit anderen ESDs

Schiffstyp Typ der ESD	Versuchsanstalt	Leistungs- Einsparung
BMD + Hybrid-Fins, Fukudam, Japan, (Fins am Ruder)		
61.000 tdw Bulker	SRC, Tokyo, JP	
BMD allein		6,1%
HF allein		3,5%
BMD + HF		6,8%
BMD + Saver-Fins, Samsung, Korea, (Fins am Schiff vor der BMD)		
158.000 tdw Tanker	HSVA, Hamburg, DE, 2010	
Saver-Fins allein		1,6%
BMD allein		2,1%
SF + BMD		3,8%
158 k T. new BMD design	HRBI, Zagreb, HR, 2014	
alle Versuche mit SF		
BMD allein (zusätzlich zu SF)		4,7%
BMD + Sanoyas Tandem-Fins, Japan, (Fins am Schiff vor der BMD)		
89.000 tdw Bulker	SRC, Tokyo, JP	
BMD allein		7,1%
BMD + Ruderwulst		8,0%
BMD + RW + Sanoyas TF		9,5%
BMD + Becker Twisted Rudder (TLKSR)		
110.000 tdw COT	SSPA, Göteborg, SE	
BMD allein		7,0%
BMD + Twisted Rudder		9,1%

6. Vergleich mit anderen Energy-Saving Devices

Der Vergleich mit anderen erfolgreichen Energy-Saving Devices wird in Tabelle 5 vorgenommen. Die in der rechten Spalte angegebenen möglichen Einsparungen sind Einschätzungen des Autors auf der Grundlage seiner fünfunddreißigjährigen Erfahrungen mit selbst gemessenen realen Versuchsergebnissen verschiedenster ESDs. Auch die aus der Verlustanalyse resultierenden maximal möglichen Gewinne sind eingeflossen.

Die Wirksamkeit der Leiteinrichtungen vor dem Propeller ist sehr abhängig von der Schiffsform und vom Schiffstyp. Hier gelten die jeweils kleineren Werte für schlanke Schiffe mit sehr guten Schiffslinien und die jeweils größeren Werte für völlige Schiffe mit normal guten Linien. Bei Schiffen mit sehr ungünstigen Linien können die Einsparungen auch deutlich höher sein. Es kommt auch vor, dass durch schlecht entworfene oder falsch ausgewählte ESDs der Leistungsbedarf erhöht wird.

Tabelle 5. Zusammenstellung bekannter, erfolgreicher Energy-Saving Devices

Mögliche Leistungseinsparungen durch bekannte Energy-Saving Devices							
Nr.	Name	Firma/ Erfinder	Land	Typ	Ort der Anbringung	Hauptquelle der Einsparung	Mögliche Einsparung
Ein-Komponenten Devices							
1	SAVER-Fins	Samsung	KR	Pre-fins	weit vor dem Propeller	Verringert Verluste im Nachstrom	0-3 %
2	Tandem-Fins	Sanoyas	JP	Pre-fins	weit vor dem Propeller	Verringert Verluste im Nachstrom	0-5 %
3	WED	Schneekluth	DE	Pre-duct	direkt vor dem Propeller	Verbessert die Zuströmung	0-4 %
4	SILD	Sumitomo	JP	Pre-duct	direkt vor dem Propeller	Verbessert die Zuströmung	0-6 %
5	Grothues-Spoiler	Grothues	DE	mehrere Fins auf jeder Seite	direkt vor dem Propeller	Verringert Verluste im Nachstrom	0-5 %
6	SVA Fin System	SVA	DE	Pre-fins	direkt vor dem Propeller	Reduziert Rotationsverluste	1-4 %
7	PSS	DSME	KR	Pre-fins	direkt vor dem Propeller	Reduziert Rotationsverluste	2-5 %
8	PBCF	Ouchi	JP	Fins	an der Propellernabe	Reduziert den Nabenwirbel	1-4 %
9	Ruder-Wulst	Costa	PT/CH	Ruder Wulst	am Ruder hinter der Nabe	Reduziert den Nabenwirbel	0-3 %
Mehr-Komponenten Devices							
10	Hybrid-Fins	Fukudam	JP	Ruder-Fins	seitlich am Ruder	Reduziert den Nabenwirbel Reduziert Rotationsverluste	2-4 %
11	Twistiertes Ruder	BMS u. andere	DE	Twistierte Eintrittskante	neues Ruder	Reduziert Ruderwiderstand Reduziert Rotationsverluste	1-3 %
12	Rudder Bulb System with Fins (RBS-F)	Kawasaki	JP	Ruder Wulst mit seitlichen Fins	am Ruder hinter der Propellernabe	Reduziert den Nabenwirbel Reduziert Rotationsverluste	2-5 %
13	Energopac	Wärtsilä	FI	Integrierter Propeller- und Ruder-Wulst	Propeller und Ruder (nur vollständig neu möglich)	Reduziert den Nabenwirbel Reduziert die Propellerbelastung	2-6 %
14	PROMAS	Rolls-Royce	SE	Integrierter Propeller- und Ruder-Wulst	Propeller und Ruder (nur vollständig neu möglich)	Reduziert den Nabenwirbel Reduziert die Propellerbelastung	2-6 %
15	Gegenlaufpropeller	Ericsson	SE	zwei gegenläufige Propeller hintereinander	Zweiter Propeller direkt hinter dem ersten	Reduziert Rotationsverluste Reduziert die Propellerbelastung	5-14 %
16	Grimsches Leitrad	Grim	DE	zusätzliches Rad als Turbine hinter dem Propeller	hinter dem Propeller	Reduziert die Propellerbelastung Reduziert Rotationsverluste	5-12 %
17	Becker Mewis Duct	BMS/Mewis	DE	Düse vor dem Propeller mit integriertem Fin-System	dicht vor dem Propeller	Verbessert die Zuströmung Reduziert Rotationsverluste Reduziert den Nabenwirbel	2-9 %
18	Pre-Shrouded Vanes	CMES-Tech	CN	wie BMD, aber Teilringdüse	wie BMD	wie BMD	2-8 %

Die in Tabelle 5, Punkt 13 bis 16 aufgezählten Erfindungen, Energopac, PROMAS, Gegenlaufpropeller und Grimsches Leitrad sind streng genommen keine ESDs. Alle diese Ausführungen können nicht im Zusammenhang mit einem herkömmlichen Propeller verwendet werden, sie können einen solchen nur ersetzen. Diese vier Erfindungen zeigen aber deutlich, welche Gewinne möglich sind wenn man sich vom herkömmlichen Propeller verabschiedet. Es soll jedoch auch erwähnt werden, dass die hydrodynamisch besten Lösungen, Gegenlaufpropeller und Grimsches Leitrad, aus technischen Gründen nach wie vor schwierig zu realisieren sind.

7. Danksagungen

Die vorgestellten Erfolge konnten nur durch die Mithilfe einer großen Zahl von Mitarbeitern vieler verschiedener Firmen erzielt werden, denen ich allen sehr zu Dank verpflichtet bin.

An erster Stelle sind die beteiligten Mitarbeiter von Becker Marine Systems in Hamburg zu nennen, insbesondere der ehemalige Geschäftsführer Dirk Lehmann und der seit 12 Jahren verantwortliche Leiter der Abteilung „Mewis Duct, Energy-Saving Devices“ Frank Petersen.

Alle CFD-Rechnungen und Weiterentwicklungen der Becker Mewis Duct wurden von der kleinen Rostocker Firma IBMV vorgenommen, hier ist Steve Leonhard von Anfang an verantwortlich und immer auf höchstem Niveau arbeitend. Seine Kollegen Thomas Guiard und Jochen Hundemer haben in jahrelanger Entwicklungsarbeit für das Gelingen entscheidend beigetragen.

Herrn Olaf Zimmermann, der seit über 10 Jahren die Modellversuche begleitet und überwacht, gebührt mein Dank ebenso.

Aber auch sehr viele Werftarbeiter und Ingenieure und Kontrolleure der Firma BMS rund um den Globus haben dazu beigetragen, dass die mehr als 1400 BMDs fachgerecht und sicher hergestellt und montiert wurden, so sorgfältig, dass bisher keine Havarie durch die BMD aufgetreten ist.

Nicht zuletzt gilt mein Dank Herrn Professor Hans-Erhard Peters, der mir vor fast 40 Jahren die Welt der Verluste und Ihrer Verringerungs-Möglichkeiten um einen hinter dem Schiff arbeitenden Propeller gezeigt hat.

Literatur

Chang, X., Sun, S., Zhi, Y., Yuan, Y. (2019). "Investigation of the effects of a fan-shaped Mewis duct before a Propeller on propulsion performance", *Journal of Marine Science and Technology* 24, pp 46-59 (2019).

CSDC/CSIC. (2014). "Integrated Solutions for Energy Saving of Ship Provided", Broschüre von CSDC und CSIC, Beijing, Shanghai 2014

Dang, J., Chen, H., Dong, G., Ploeg, A., Hallmann, R. & Mauro, F. (2011). "An Exploratory Study on the Working Principles of Energy Saving Devices (ESDs)", *Proceedings of the Symposium on Green Ship Technology (Greenship'2011)*, Wuxi, China.

Dyne, G. (1983). "Ship Propulsion Improvement – Principles and a Survey of Alternative Propulsion Systems", Eight WEGEMT School, Gothenburg.

Ericsson, J. (1836). zitiert in Warnecke, H.-J. (2005). „Schiffsantriebe – 5.000 Jahre Innovation“, S. 161 – 162, Koehlers Verlagsgesellschaft, Hamburg.

Fathom, (2013). "Ship Efficiency: The Guide", Chapter Propulsion, pp 63 – 120, ISBN: 978-0-9568259-5-7, Windsor, UK.

Ferguson, S. (2016). "Designed with STAR-CCM+: The Becker Mewis Duct", *Siemens SW Multidisciplinary Simulation in the Marine Industry EB (1)*, pp 76-79

Gougoulidis, G., Vasileiadis, N. (2015). "An Overview of Hydrodynamic Energy Efficiency Improvement Measures", *Conference: The 5th International On Ship Operations, Management & Economics (SOME 2015)*, Athens, Greece

Guiard, T., Leonard, S., Mewis, F. (2013). "The Becker Mewis Duct® - Challenges in Full-Scale Design and new Developments for Fast Ships", *Third International Symposium on Marine Propulsors*, Launceston, Australia, May 2013.

Lee, J. T., Kim, M. C., Suh, J. C., Kim, S. H., Choi, J. K. (1992). "Development of a Preswirl Stator-Propeller System for Improvement of Propulsion Efficiency: A Symmetric Stator Propulsion System", *Trans. Of SNAK*, Vol. 29, No. 4, Nov. 1992.

Mewis, F. (2009). „Leistungseinsparungen durch eine neuartige hydrodynamische Vordralldüse“, *Hauptversammlung der STG, Berlin, Nov. 2009, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft*, 103. Band, S. 421-431, Hamburg.

Mewis, F. (2012). „Propulsionsversuche mit und ohne Mewis Duct®“, *Schiff und Hafen*, Mai 2012, Nr. 5, S. 24-28, Hamburg.

Mewis, F. (2014). „Six Years Mewis Duct® - Six Years of Hydrodynamic Development“, STG Sprechtag „Energy Saving Devices“, Hamburg, Okt. 2014, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 108. Band, S. 157-164, Hamburg.

Peters, H.-E., Mewis, F. (1986). „Power Savings through a Novel Fin System“, 15th SMSSH Conference, Varna, Bulgarien.

Roscher, K. (1938). „Wirtschaftliche und wissenschaftliche Bedeutung ummantelter Schiffsschrauben“, 39. Hauptversammlung der STG, Berlin, Nov. 1938

Sasaki, N., Aono, T. (1997). „Energy Saving Device SILD“, Journal of Shipbuilding Vol. 45, No. 135, Japan.

Schneekluth, H. (1986). „Wake Equalising Duct“, The Naval Architect, London, UK.

Van Lammeren, W.P.A. (1949). „Enkele Constructies ter Verbetering van het Rendement van de Voortstuwing“, Ship en Werf van April 1949, No.7, Rotterdam, Niederlande.

Wagner, R. (1929). „Rückblick und Ausblick auf die Entwicklung des Contrapropellers“, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 30. Band, S. 195 – 256, Berlin.

Verwendete Abkürzungen und Zeichen

BMS	Becker Marine Systems
BMD	Becker Mewis Duct®
BMDT	Becker Mewis Duct® Twisted
BTF	Becker Twisted Fin, Vorläufer von BMDT
CFD	Computer Fluid Dynamics
CMA CGM	größte französische Containerschiff Reederei
CMES-Tech	Shanghai Marine Energy Saving Technology Development
COT	Crude Oil Tanker
CSDC	China Ship Design & Research Center, Shanghai
CSIC	China Shipbuilding Industry Corporation, Shanghai
C_{Th}	Schubbelastungsgrad, Definition im Text Abschnitt 5.
DSME	DAEWOO Shipbuilding and Marine Engineering, Korea
DWT	auch tdw, Dead Weight Tons, Tragfähigkeit eines Schiffes
EEDI	Energy Efficiency Design Index
Energopac	Wärtsilä, Produktname
ESCAP®	Energy Saving Cap, MMG, Produktname
ESD	Energy-Saving Device
HF	Hybrid-Fins, Fukudam, Japan
HRBI	Brodarski Institut, Zagreb, Kroatien
HSVA	Hamburgische Schiffbau Versuchsanstalt
HVAF	Hub Vortex Absorbed Fins, CMES-Tech, Shanghai
IBMV	Ingenieurbüro Mecklenburg-Vorpommern, Rostock
kn	Knoten, Seemeilen pro Stunde
MARIN	Maritime Research Institute Netherlands
MMG	Mecklenburger Metallguss, Waren
MPC	Multi-Purpose Carrier
MSH	Mewis Ship Hydrodynamics

PBCF Propeller Boss Cap Fins, Mitsui, Japan
PROMAS Rolls Royce, Produktname
PSS Pre-Swirl Stator, DSME, Süd-Korea
PSV Pre-Shrouded Vanes, CMES-Tech, Shanghai
RBS-F Rudder Bulb System with Fins, Kawasaki, Japan
RW Ruder Wulst
SDARI Shanghai Merchant Ship Design and Research Institute
SF SAVER-Fins, Samsung, Korea
SILD Sumitomo Integrated Lammeren Duct
SMSSH Konferenz in Varna 1986, Bulgarien
SRC Shipbuilding Research Center, Tokyo, Japan
SSPA Swedish Ship Model Basin, Göteborg
STG Schiffbautechnische Gesellschaft
tdw auch DWT, tons dead weight, Tragfähigkeit eines Schiffes
TEU Twenty Feet Equivalent Unit, Container Standard
TF Tandem-Fins, Sanoyas, Japan
TLKSR Becker Twisted Leading Edge Rudder
VLCC Very Large Crude Oil Carrier
VLOC Very Large Ore Carrier
WED Wake Equalizing Duct, Schneekluth Düse
WID Wake Improving Duct, CMES-Tech, Shanghai
WEGEMT West European Graduate Education in Marine Technology