

Das Leitflüssensystem der SVA am Containerschiff Typ „Saturn“

Die gravierende Erhöhung der Energiekosten in den siebziger Jahren hat die Senkung der Antriebsenergie von Schiffen als ökonomische und wissenschaftlich-technische Aufgabe erneut in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Seither sind die Verlustquellen bei der Fortbewegung des Schiffes systematisch analysiert worden, und zu jeder Verlustquelle wurden geeignete Bauelemente zur Senkung oder Beeinflussung der Verluste entwickelt.

Bild 1 zeigt zunächst eine Übersicht über wesentliche Verlustgruppen und Maßnahmen zu ihrer Beeinflussung. Benannt sind die Energieverluste für ein Schiff als Gesamtsystem in Großausführung. Die Breite der Pleile entspricht etwa dem prozentualen Anteil der Verluste bei einem Schiff mit 30 000 t Displacement und einer Dienstgeschwindigkeit von 17,5 kn, mit Bugwulst, ohne Strömungsablösung und ohne ausgeprägte Kimmwirbelstrukturen. Die Abschätzung basiert auf Modellgrundlagen in [1], die Wechselwirkung Schiffskörper und Propeller ist einbezogen und kommt im wesentlichen in der gegenüber dem freifahrenden Propeller erheblich verminderten axialen Austrittsenergie zum Ausdruck.

Dr.-Ing. Hans-Erhard Peters,
Dipl.-Ing. Friedrich Mewis

Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH (SVA),
Berlin

Aus den angegebenen Maßnahmen und Bauteilen zur Senkung der Verluste wird deutlich, daß nahezu alle Verlustgruppen ohne zusätzliche Anbauten am Schiff durch Schiffsformgebung, Propellergestaltung, Anstrichsystem und -erneuerung u. ä. beeinflußt werden können bis auf eine Ausnahme, die Drallverluste im Propellerstrahl und die drallbedingten Folgeverluste. Diese Verluste sind nur durch zusätzliche Bauelemente zu reduzieren und erfordern entweder einen zweiten, entgegengesetzt drehenden Propeller, ein Leitrad nach Grim oder größere schiffsfeste Leiteinrichtungen. Eine weitere Besonderheit dieser Verlustgruppe besteht darin, daß diese Verluste fast vollständig eliminiert und weitere Vorteile wie die Senkung der Schwingungserregung und die gleichmäßige Belastung des Propellers erschlossen werden können. Zu den im Beispiel ausgewiesenen Drallverlusten in Höhe von 4 % treten noch Folgeverluste infolge Schräganströmung, Wechselwirkung und Propelleroptimierung hinzu, auf die später eingegangen wird. Wegen der Grö-

ße des Einsparungspotentials gibt es international zahlreiche Lösungen, die man im weiteren Sinne dem Konzept der Kontrapropeller zuordnen kann. Die anderen Verlustgruppen können demgegenüber zwar beeinflußt und gemindert, aber nicht ausgeschaltet werden.

Propulsion fins for container vessels type "Saturn"

Propulsion energy savings are possible by using fins in the propeller area. Different fins, nozzles and wake equalizing ducts are designed and proposed. GDR-shipyards designed and built the so-called SVA-fins used on the hull of the container vessels type "Saturn". SVA stands for "Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam", the GDR-tanktesting-laboratory. This article describes the base idea, the tests and the really built fin.

Im Streit um die Frage, ob Anbauten am Schiff geduldet werden können oder gar erforderlich sind, wird damit eindeutig Stellung genommen: Wer das Potential der Drallverluste und der Drallfolgeverluste mit der Größenordnung von zusammen etwa 10% der Antriebsenergie ausschalten will, der muß Kontrapropeller oder Anbauten in Form von Leiteinrichtungen akzeptieren. Damit erklärt sich auch, weshalb im internationalen Rahmen gerade zu diesem Konzept so zahlreiche Lösungen erarbeitet wurden. Auch die Entwicklung des Leitflüssensystems der SVA ging von dieser Analyse aus.

Ergänzend zu Bild 1 sei auf die Probleme der Wechselwirkung zwischen Umströmungsverlusten am Schiffskörper und Propulsionsverlusten hingewiesen. Hier können insbesondere großräumige Kimmwirbelstrukturen, die mit der U-Spantform verbunden sind, erhebliche Energie binden und zu erhöhtem Widerstand im Schleppversuch führen, jedoch kann durch diese Wirbel die Zuführung von Grenzschichtmaterial zum Propeller verstärkt und damit die Rückgewinnung von Rei-

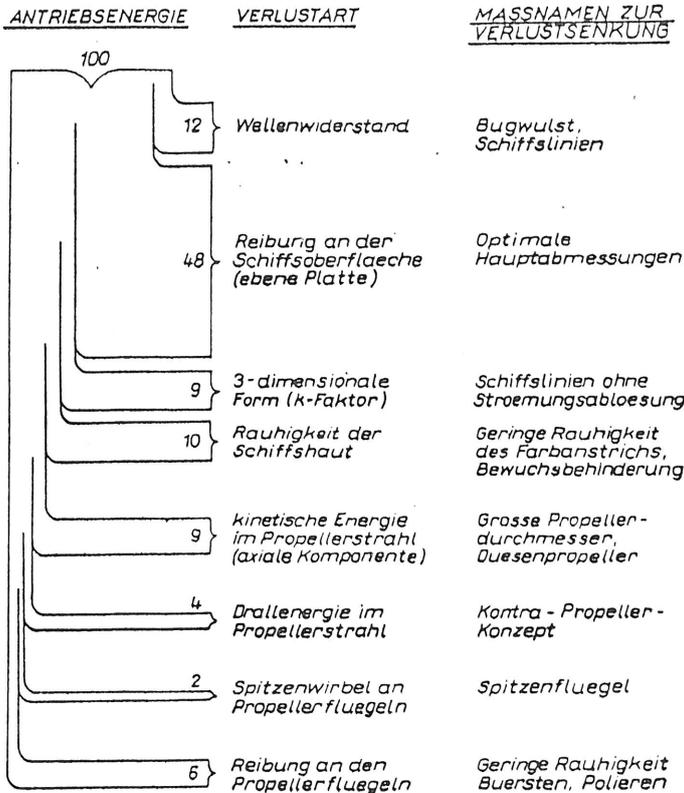


Bild 1: Verlustgruppen und Maßnahmen zur Beeinflussung für ein Schiff in Großausführung bei etwa 30 000 t Displacement und $v = 17,5$ kn

bungsnachlauf im Propeller verbessert werden, so daß im Propulsionsversuch trotz der Kimmwirbelstruktur für das gesamte System Schiff und Propeller sogar eine bessere energetische Güte ausgewiesen wird. Harvald [2] gibt dazu eine detaillierte Untersuchung. Zur Beurteilung von komplexen Propulsionslösungen ist deshalb nur der Propulsionsversuch geeignet, weil er das Gesamtsystem beurteilt.

Bauelemente zur Rückgewinnung der Energie aus Kimmwirbeln sind die Spoiler nach Grothues-Spork, aber auch größere Leiteinrichtungen vor dem Propeller wie bei der SVA-Lösung. In Bild 1 sind weiterhin Verluste aus Strömungsablosung am Hinterschiff nicht benannt, die mit völligen Hinterschiffsformen verbunden sind. Zur Unterbindung von Ablösung ist die Schneekluth-Düse ein geeignetes Bauelement.

Grundkonzept der Kontrapropeller

Das Leitflossensystem der SVA bildet zusammen mit einem speziell für diese Zuströmbedingungen optimierten Propeller eine Realisierung des Kontrapropeller-Konzeptes mit schiffsfestem Leitrad vor dem Propeller.

Zur optimalen Energieübertragung in Turbomaschinen wirken grundsätzlich in einer Stufe jeweils ein energieübertragendes Laufrad und ein Leitapparat (Leitrad) zusammen. Das liegt im Funktionsprinzip der Turbomaschinen begründet, in denen die Energieübertragung im Laufrad mit einer Änderung des Drehimpulses verbunden ist, die zu einem energetischen Verlust in Form von kinetischer Energie der Umfangskomponente im Propellerstrahl (Drallverlust) führt. Dieser Verlust kann bei Anordnung eines Leitrades eliminiert werden.

In besonderen Fällen einstufiger Axialmaschinen wie Schiffpropeller und Windmühlen sind jedoch leitraddlose Lösungen üblich, bei denen die Drallverluste zugunsten einfacher Bauweise und zu Lasten einer Überhöhung anderer Verlustanteile akzeptiert werden. Es sei darauf hingewiesen, daß sich beim Wegfall des Leitrades andere Optimierungsbedingungen für das Laufrad ergeben, die bei Propellern z. B. andere optimale Durchmesser und andere Belastungsverteilungen innerhalb des Propellerkreises in radialer Richtung mit anderen Flügelumrissen und Steigungsverläufen zur Folge haben. Wesentliche Wirkungen eines Leitrades bestehen in der weitgehenden Ausschaltung der Drallverluste, in der Entlastung der Flügelspitzen durch höhere Belastung in anderen Bereichen der Propellerkreisfläche mit günstigen Tendenzen für die Senkung der Schwingungserregung. Bei der klassischen Form der Kontrapropeller gibt es zwei gegenläufige, energieübertragende Laufräder, die den Drall gegenseitig kompensieren.

Die Bedeutung der drallbedingten energetischen Verluste und Nebenwirkungen wird im allgemeinen erheblich unterschätzt. Das hat zwei Ursachen: Zum einen führt die optimale Auslegung beim Propeller ohne Leitrad dazu, daß mit Rücksicht auf den Drall größere axiale Strahlverluste und Reibungsverluste am Propeller toleriert werden, es ergibt sich die klassische optimale Zirkulationsverteilung in radialer Richtung. Die dabei verbleibenden und in Berechnungsprogrammen ausgewiesenen Drallverluste haben bei Frachtschiffen dann vielfach nur die Größenordnung von 3–4% der Antriebsenergie. Sie wachsen mit dem Schubbelastungsgrad und mit dem Steigungsverhältnis P/D bis auf Wer-

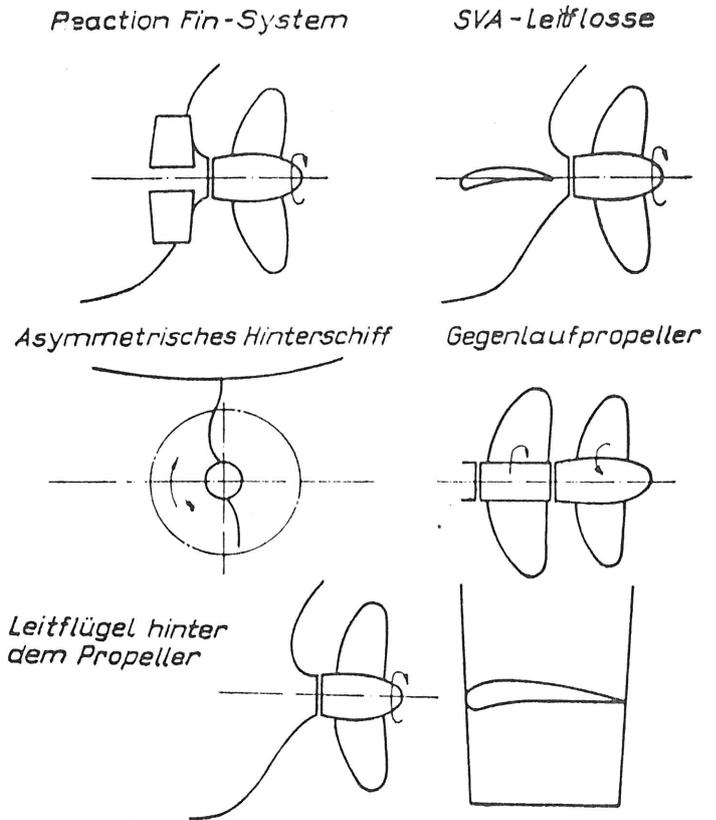


Bild 2: Anordnungen zum Kontrapropeller-Konzept

te über 10% an. Eine Abschätzung dazu ist in [3] für Propeller und Düsenpropeller als Diagramm gegeben. Zum anderen treten zusätzliche Effekte aus Reibungswirkung an den Propellerflügeln und an der Propellernabe auf, die die potentialtheoretisch ausgewiesenen Drallverluste erheblich verstärken. Diese Effekte sind physikalisch noch nicht hinreichend geklärt und schwer quantifizierbar, erklären aber doch, weshalb in Experimenten wiederholt und reproduzierbar größere energetische Gewinne auftraten als in Berechnungsmodellen. Weiterhin sind Wechselwirkungen zwischen Zuströmung, Propulsionsorgan und Ruder sowie Maßstabbeeinflüsse besonders bei den genannten Zusatzeffekten in Betracht zu ziehen. Ein Teil der Drallverluste wird durch das Ruder zurückgewonnen. Die Komplexität der Zusammenhänge erschwert die Einordnung der Bewertung der technischen Lösungen mit Drallreduktion. Bild 2 zeigt eine Skizze von Anordnungen, die im weiteren Sinne dem Kontrapropeller-Konzept zuzurechnen sind:

- Propeller mit schiffsfester Vorleiteinrichtung: Reaction fins, SVA-Leitflossensystem, Leitflächen nach Punson, asymmetrische Hinterschiffsform
- Gegenlaufpropeller oder Kombinationen mit gegenläufigem Ruderpropeller
- Propeller mit Nachleiteinrichtung: Leitflossen am Ruder.

Eine Sonderstellung nimmt das Leitrad nach O. Grim ein, das ohne Antrieb frei hinter dem Propeller mit erheblich geringerer Drehzahl, größerer Flügelzahl und größerem Durchmesser umläuft, wobei eine Drallreduktion im Innenbereich mit der Reduzierung anderer Verlustgruppen im Gesamtsystem

zusammenwirkt. Bauelemente mit lokaler Wirkung zur Verminderung drallbedingter Verluste sind in der Costa-Birne und in Nabenkappenflossen zu sehen.

Das Potential für die Reduzierung der Antriebsenergie durch Kontrapropeller-Konzepte dürfte bei Anwendung von zwei gegenläufigen Propellern bei 10–15% und bei Anwendung von nichtbewegten Vor- oder Nachleiteinrichtungen bei 5–10% liegen. Leiteinrichtungen vor dem Propeller haben dabei geringere Reibungsverluste als Leiteinrichtungen im Propellerstrahl und gestatten zusätzlich energetische Rückgewinnung bei großräumigen Kimmwirbelstrukturen. Anordnungen mit zwei Laufrädern wie beim Gegenlaufpropeller oder mit einem Grimschen Leitrad sind maschinenbaulich aufwendig, wodurch der höhere energetische Gewinn kompensiert werden kann. Hier ist der technische und ökonomische Kompromiß für jeden Einzelfall zu prüfen.

Das SVA-Flossensystem

Von den in der DDR im letzten Jahrzehnt vorgeschlagenen Lösungen zur Verbesserung der Propulsion wurde bisher nur das in der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam (SVA) entwickelte Leitflossensystem realisiert. Über die theoretischen Überlegungen, die zur Entwicklung des SVA-Flossensystems geführt haben, sowie über einige Ergebnisse aus Modell und Großausführung wurde von den Autoren in veröffentlichten Vorträgen [3], [4], [5] ausführlich berichtet, so daß hier eine kurze Beschreibung der Wirkungsweise, der technischen Ausführung, einiger spezieller Ergebnisse im Modellversuch sowie der Realisierung am Containerschiff vom Typ „Saturn“ ausreichen soll.

Entwicklung des Flossensystems

Mit der Entwicklung des SVA-Flossensystems wurden im wesentlichen zwei Effekte angestrebt, die zu einer Verringerung der erforderlichen Antriebsleistung führen sollten:

- Verringerung der Drallverluste im Propellerstrahl durch Erzeugung von Vordrall
- Rückgewinnung von Energie aus dem Schiffsnachstrom durch geeignete Beeinflussung der Propellerzuströmung

Um diese beiden Ziele zu erreichen, müssen die Strömungsleiteinrichtungen vor dem Propeller angeordnet werden. Die folgenden Gedanken liegen der konkreten Gestaltung und Anordnung des SVA-Flossensystems zugrunde:

Als wesentlich für die Gestaltung der Strömungsleiteinrichtung ist neben Schubbelastungsgrad und Steigerungsverhältnis des Propellers das Nachstromfeld des Schiffes, und dabei insbesondere dessen transversale Komponente, anzusehen, das ja gleichzeitig das Zustromfeld des Propellers ist. Moderne Einschraubenschiffe können in Abhängigkeit von ihrer Spantform zwei Typen von transversalen Nachstromfeldern besitzen, wie sie im Bild 3 im Prinzip dargestellt sind. Die Mehrheit der modernen Schiffe hat auf Grund ihrer U-Spantform ein mehr oder weniger modifiziertes Nachstromfeld vom Typ U. Der Typ V

unterscheidet sich vom Typ V beträchtlich durch das Vorhandensein eines großräumigen Nachstromwirbels, der im Propellerkreis in Schiffswandnähe zu einer Umkehr der vertikalen Strömungsrichtung führt. Die Strömung ist im wandnahen Bereich also nach unten gerichtet.

Im Bild 4 kommt die sehr unterschiedliche Grundstruktur der Zuströmung zum Propeller der beiden Nachstromfeld-Typen noch klarer zum Ausdruck. Die auf den transversalen Stromlinien eingezeichneten Pfeillängen geben etwa den Weg an, den die Strömung im Verlauf des Durchströmens der letzten Spantlänge (= $0,05 \times L_{pp}$ vor dem Propeller) ohne Einfluß des Propellers zurücklegt.

Es ist augenfällig, daß im Nachstromfeld Typ U mehr Energie enthalten ist als beim Typ V, demzufolge durch Strömungsleiteinrichtungen auch mehr Energie zurückgewonnen werden kann.

Das Nachstromfeld von symmetrischen Einschraubenschiffen ist auf beiden Schiffsseiten gleich, also symmetrisch. Der Propeller arbeitet jedoch infolge seiner Drehbewegung unter diesen Bedingungen unter extrem unsymmetrischer Anströmung. Auf der aufwärts schlagenden Seite bewegt er sich mit der nach oben gerichteten Anströmung (nur bei Typ V über den gesamten Flügelradius), auf der abwärts schlagenden Seite dagegen. Die Anströmwinkel betragen immerhin bis 10° , der Unterschied zwischen beiden Schiffsseiten also bis 20° . Auf der abwärts schlagenden Seite bedeutet diese Schräganströmung „Gegendrall“, der aus energetischen Gründen erwünscht ist, während auf der aufwärts schlagenden Seite ein „Mitdrall“ vorhanden ist, der energetisch ungünstig ist. Der Gegendrall vor dem Propeller überlagert sich mit dem vom Propeller in Drehrichtung erzeugten Drall so, daß im Strahl keine oder nur geringe Umfangskomponenten vorhanden sind. Im Falle von Mitdrall vor dem Propeller wird der Drallverlust im Strahl sogar erhöht. Wenn es gelingt, durch eine Leiteinrichtung vor dem Propeller den „Mitdrall“ zu eliminieren oder sogar in Gegendrall zu verwandeln, kann man erwarten, daß der Drall des Propellerstrahls geringer wird und so auch der damit verbundene Drallverlust.

Die Drallverluste können, wie oben gesagt, abgeschätzt werden und betragen bei normalen Einschraubern ca. 3 bis 4%. Wenn man annimmt, daß sich Drallfolgeverluste und Rückgewinnung durch das Ruder kompensie-

Tabelle 1: Meßwertänderungen durch das SVA-Flossensystem bei Konstruktionstiefgang und Dienstgeschwindigkeit ohne Propelleranpassung

Lfd. Nr.	Schiffstyp, Länge (L_{pp})	Typ des Nachstr. feldes	Flossen-Anzahl	Meßwertänderung in %			
				P_D	n	Q	T
1	VCS „Saturn“ 164 m	V	1	-2,6	-2,2	-0,4	+0,1
2	UCC 145 m	U	2	-4,5	-2,2	-2,4	-2,0
3	Fischereischiff* 116 m	U	2	-3,1	-1,1	-1,9	+2,7
4	Ro/Ro-Schiff 170 m	U	2	-5,4	-2,1	-3,3	-3,8
5	Containerschiff 135 m	U	1	-5,0	-2,9	-2,1	-0,3
6	Fischereischiff 153 m	U	2	-6,2	-2,5	-3,8	-3,4
7	Containerschiff* 140 m	U	1	-2,8	-2,4	-0,4	+1,9

Anmerkung: Für die mit * versehenen Schiffe ist die Optimierung noch nicht abgeschlossen bzw. wurde abgebrochen. Hier sind noch weitere Reserven erschließbar, wie aus dem erhöhten Wert von T hervorgeht.

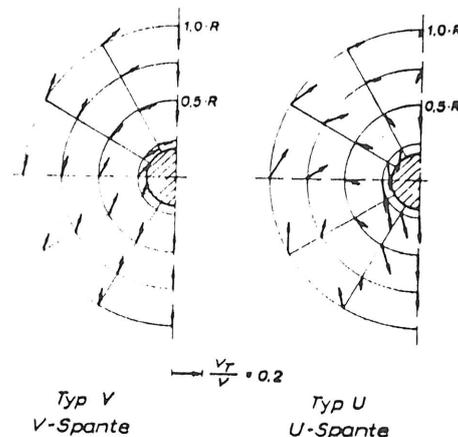


Bild 3: Transversale Komponenten des nominalen Nachstromfeldes in der Propellerebene

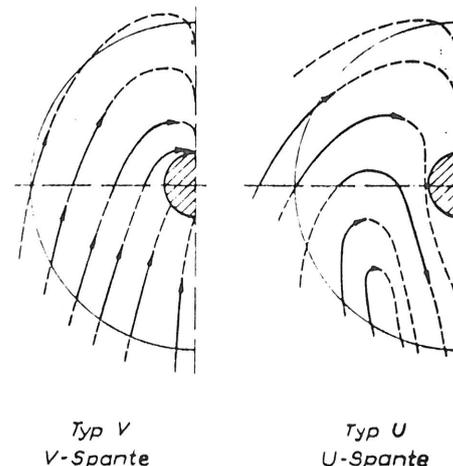
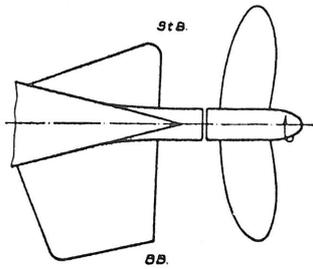


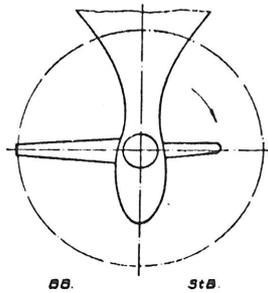
Bild 4: Strömungsverlauf auf dem Weg zur Propellerebene, ohne Flossen (die Pfeillängen geben den Weg an, den die Strömung auf einer Spantlänge, $0,05 L_{pp}$, zurücklegt)

ren, so liegt der zu erwartende Gewinn allein aus Drallreduktion ebenfalls in der Größenordnung von 3 bis 4% der Antriebsleistung. Bei Schiffen mit einem Nachstromfeld vom Typ V ist ein wesentlich größerer Gewinn auf diesem Wege nicht zu erzielen. Hier genügt auch eine Leiteinrichtung auf der Schiffseite, auf der der Propeller nach oben schlägt.

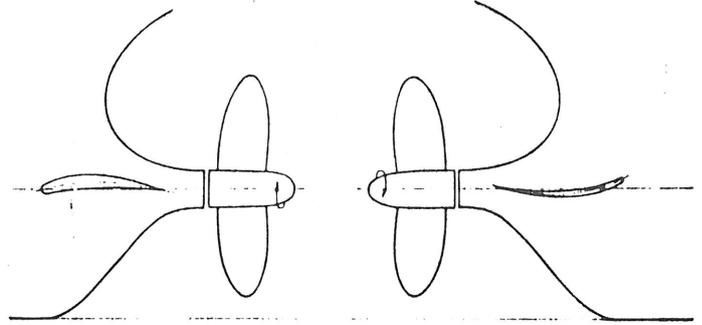
Anders sieht es dagegen bei Schiffen mit einem Nachstromfeld des Typs U aus. Infolge der Umkehr der vertikalen Anströmrichtung in Wandnähe wird die Strömungsleiteinrichtung zwangsläufig komplizierter, aber es sind auch höhere Gewinne möglich. Auf der aufwärts schlagenden Propellerseite muß bei der Verwendung einer kompakten Flosse vor



Ansicht von oben



Ansicht von achtern



Backbord-Flosse

Steuerbord-Flosse

Bild 5: SVA-Leitflossensystem für rechtsdrehenden Propeller

dem Propeller, wie sie das SVA-Flossensystem vorsieht, die Eintrittskante der Leitflosse dem konkreten Strömungsfeld angepaßt werden, d. h., sie muß in Wandnähe vorn angehoben werden. Auf der abwärts schlagenden Seite des Propellers kann mit einer oder mehreren kleineren Leiteinrichtungen die Strömung in Wandnähe, die energetisch „falsch“ ankommt, umgelenkt werden. Der durch diese Maßnahmen erzielbare zusätzliche Gewinn beträgt nach den bisherigen Erfahrungen 2 bis 4 %, läßt sich aber bei weiterer Verfeinerung des Systems noch vergrößern.

Die durch das entwickelte Flossensystem erzielbare Energieeinsparung beträgt also in Abhängigkeit vom Nachstromfeld des Schiffes zwischen 3 und 8 % ohne zusätzliche Propelleranpassung. Durch Anpassung und Optimierung des Propellers unter Systembedingungen mit Vordrall können noch weitere 1 bis 2 % Energieeinsparung erzielt werden.

Geometrische Ausführung des Flossensystems

Um die technische Ausführung so einfach wie möglich zu machen, wurde von Anfang der Entwicklung an versucht, mit je einer Leitfläche auf jeder Schiffseite auszukommen. Damit wird sicherlich ein kleiner Teil des maximal erreichbaren Gewinns verschenkt, andererseits ist es so aber möglich, die dadurch erforderlichen relativ großen Leitflossen dem rauen Schiffsbetrieb entsprechend robust zu gestalten.

Die Bilder 5 und 6 zeigen die prinzipielle Skizze des SVA-Flossensystems für ein Einschraubenschiff mit rechtsdrehendem Propeller und einem Nachstromfeld mit Nachstromwirbel (entsprechend Typ U). In den Bildern 7, 8 und 9 sind die Funktionsweise der Flossen und die beabsichtigte Beeinflussung der Propellerzuströmung in stark vereinfachter Weise dargestellt.

Die Flossengeometrie und Anordnung ist dem jeweiligen Nachstromfeld des Schiffes, der Propellergeometrie und der Propellerbelastung angepaßt. Als Profile werden auf der aufschlagenden Seite des Propellers, für die große Flosse also, Tragflügelprofile verwendet. Auf der abschlagenden Propellerseite wird für die kleine Flosse ein Kreisbogenprofil vorgesehen

Modellversuchsergebnisse

Die Wirksamkeit des Flossensystems wurde am Beginn der Entwicklung ausschließlich

Bild 6: SVA-Leitflossensystem für rechtsdrehenden Propeller

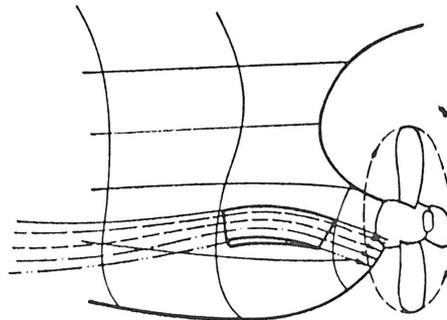


Bild 7: Funktionsweise der Backbordflosse an einem Schiff mit V-Spant-Charakter (stark vereinfacht dargestellt)

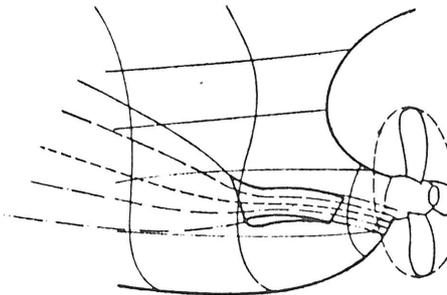


Bild 8: Funktionsweise der Backbordflosse an einem Schiff mit U-Spant-Charakter (stark vereinfacht dargestellt)

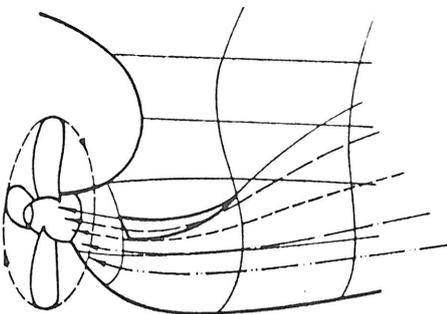


Bild 9: Funktionsweise der Steuerbordflosse an einem Schiff mit U-Spant-Charakter (stark vereinfacht dargestellt)

durch Propulsionsversuche überprüft. Inzwischen wurden Nachstrommessungen und Kavitationsversuche zur Überprüfung der Nebenwirkungen vorgenommen.

Bei der Optimierung des Flossensystems im Propulsionsversuch wurde als Hauptkriterium der Einfluß des Flossensystems auf die erforderliche Antriebsleistung verwendet, d. h., es wurde jeweils nach der Variante mit dem minimalen Aufwand an Antriebsenergie gesucht. Die einzelnen Meßwerte Drehzahl, Moment und Schub des Propellers dienen dabei als Kriterium für die Wirkungsweise des

Flossensystems. Da bei diesen Propulsionsversuchen Unterschiede im Ein-Prozent-Bereich eindeutig gemessen werden mußten, wurde eine besondere Versuchstechnologie entwickelt, die diese Bedingung erfüllt, vgl. [4].

In der Tabelle 1 sind die durch das Flossensystem bewirkten Änderungen der Propulsionsmeßwerte für einige in der SVA untersuchte Schiffmodelle zusammengestellt. Die angegebenen Werte sind Modell-Meßwerte, jeweils für die Dienstgeschwindigkeit bei Konstruktionstiefgang. Der erzielte Gewinn ist im interessierenden Bereich nahezu geschwindigkeitsunabhängig. Eine leichte Abhängigkeit des erzielbaren Gewinns vom Tiefgang ist dagegen vorhanden; beim hecklastig vertrimmten Ballasttiefgang beträgt der Gewinn nach bisherigen Erfahrungen noch etwa zwei Drittel des Gewinns beim Konstruktionstiefgang.

Die Tabelle 1 weist aus, daß der mit dem SVA-Flossensystem erzielte Gewinn zwischen 2,6 % und 6,2 % bei den untersuchten Schiffmodellen liegt. Der geringste Gewinn wurde mit dem Modell des Vollecontainerschiffes „Saturn“ erzielt, dem einzigen Schiff mit Nachstromfeld ohne Nachstromwirbel (Typ V). Die erste Realisierung des Flossensystems in der Großausführung erfolgte also an einem Schiff, bei dem von vornherein nur ein geringes Einsparungspotential vorhanden war.

Die übrigen Ergebnisse sollen in diesem Rahmen unkommentiert bleiben, bis auf den Hinweis auf Schiff Nr. 6 der Tab. 1, dem Schiff, mit dem der höchste Gewinn von 6,2 % erzielt wurde. Bei diesem Schiff handelt es sich um ein Schiffmodell mit einem asymmetrischen Heck, für das allein aus der Asymmetrie ein Gewinn von 2,7 % im Modellversuch nachgewiesen wurde. Die durch beide Maßnahmen erreichte Gesamteinsparung an Antriebsleistung bei gleicher Geschwindigkeit beträgt also insgesamt ca. 9 %.

Realisierung am Containerschiff Typ „Saturn“

Entwurfs- und Entwicklungsbedingungen

Wie bereits im Abschnitt 3 erwähnt, wurde das SVA-Flossensystem bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur am „Perspektivischen Schiff“ des DDR-Schiffbaus, dem Containerschiff Typ „Saturn“ der Warnowwerft Warnemünde, in der Großausführung realisiert.

Das Containerschiff vom Typ „Saturn“ wurde bisher in einer Stückzahl von 4 Schwe-

sterschiffen gebaut. Das erste Schiff davon ohne Flosse, drei mit Flosse. Auf Grund des einfachen Nachstromfeldes wurde das SVA-Flossensystem in seiner einfachsten Art in Form einer Flosse auf der Backbordseite des Schiffes ausgeführt, siehe dazu Bild 10. Das Schiff besitzt einen rechtsdrehenden Propeller, die Flosse liegt also auf der aufwärts schlagenden Seite vor dem Propeller.

Eine ausführliche Beschreibung des VCS „Saturn“ ist in [6], [7] gegeben. Die wichtigsten Schiffsdaten sind:

Länge zwischen den Loten	163,85 m
Breite	25,40 m
Tiefgang	9,60 m
Tragfähigkeit	16 760 t
Containerkapazität	1 166 TEU
Nennleistung (100 %)	12 160 kW
Nenn Drehzahl	130 min ⁻¹
Propellerdurchmesser	5,70 m

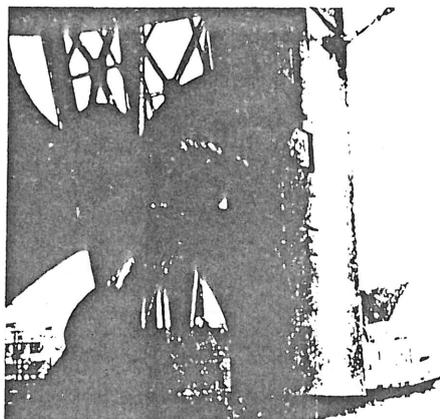


Bild 10: SVA-Leitflosse am Schiffstyp „Saturn“. Die Flosse ist zur Vorbereitung der Fächerversuche mit einer Plane abgedeckt

zwei Tiefgänge durchgeführt. Die Ergebnisse, die mit der endgültigen Flosse erzielt wurden, sind in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit in Bild 12 dargestellt.

Bild 12 zeigt, daß die Leistungseinsparung praktisch nicht geschwindigkeitsabhängig ist. Die erzielten Einsparungen betragen:

- T = 9,60 m, Schiff voll beladen,
v = 19 kn; P_D = 2,6 %
- T = 5,90 m, Ballastzustand,
v = 20 kn; P_D = 2,1 %

Die Modellversuchsergebnisse haben sich bei durchgeführten Nachuntersuchungen mehrfach als reproduzierbar erwiesen.

Probefahrtergebnisse

Der Nachweis der Wirksamkeit der Flosse an der Großausführung ist wesentlich schwieriger als im Modellversuch. Der einzig

In [4] wird eingehend über die Erfahrungen beim Einsatz des SVA-Flossensystems an diesem Schiff berichtet. Hier sollen nur die wichtigsten Ergebnisse wiedergegeben werden, sowie kurz auf die Realisierung eingegangen werden. Die Entwurfs- und Konstruktionsarbeiten für die Flosse wurden in enger Zusammenarbeit zwischen der Schiffbauversuchsanstalt Potsdam und der Warnowwerft Warnemünde in Abstimmung mit der DSRK vorgenommen und von der Warnowwerft realisiert.

Eine Skizze der Flosse mit Abmessungen und Lage im Hinterschiff zeigt Bild 11. Da die Flosse mit einer Tragfläche von ca. 5,5 m² doch ein relativ großes und entsprechend schweres Bauteil ist, das mit hoher Genauigkeit an den Schiffskörper angebracht werden mußte, war eine spezielle Technologie dafür erforderlich. Die Arbeiten wurden von der Warnowwerft in hoher Qualität und mit dem bei der Durchsetzung von Neuerungen immer erforderlichen Elan durchgeführt.

Die Propelleranpassung an die Vordrallbedingungen wurden im Rahmen der durch die bereits vorhandenen Gußrohlinge gegebenen Einschränkungen mittels Verringerung des Steigungsverhältnisses und des Flächenverhältnisses durch das Dieselmotorenwerk Rostock vorgenommen. Die darauf ausgewiesene zusätzliche Leistungseinsparung beträgt 0,4 %. Eine optimale Auslegung des Propellers unter Vordrallbedingungen war im Rahmen der Rohlinge nicht möglich, so daß die mögliche energetische Einsparung von weiteren 1 bis 2 % nicht realisiert werden konnte.

Daß die Flosse bei den von vornherein bekannten vergleichsweise geringen Einsparungen von nur 3 % der Antriebsleistung überhaupt realisiert werden konnte, ist in erster Linie der progressiven Denkweise bei Deutfracht/Seereederei, dem Reeder der Schiffe, sowie einigen leitenden Mitarbeitern des Kombinat Schiffbau Rostock zu verdanken.

Modellversuchsergebnisse zum Schiffstyp „Saturn“

Die Modellversuche zum Nachweis der Wirksamkeit der Leitflosse am Schiffmodell wurden unter den beschriebenen Bedingungen mit mehreren Leitflossen-Varianten für

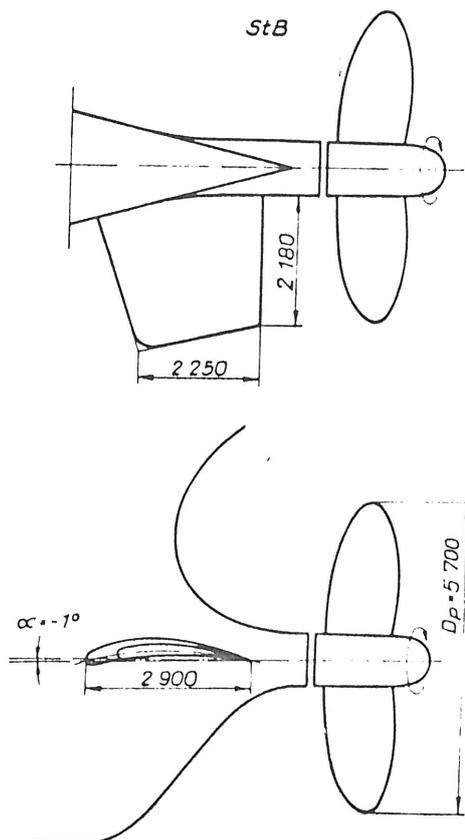


Bild 11: Leitflosse am VCS „Saturn“

realistische Vergleich – Probefahrt mit dem gleichen Schiff mit und ohne Flossen unmittelbar nacheinander – scheidet leider aus technischen und finanziellen Gründen aus.

So war man für den Nachweis auf die Probefahrtergebnisse der vier Schwesterschiffe angewiesen, eines davon ohne Flosse, drei mit Flosse. Die erhaltenen Ergebnisse der Probefahrten zeigen die ganze Problematik des Vergleichs: Die Unterschiede in den Probefahrbedingungen (Anstrichsystem, Propellerzustand, Wetterbedingungen u. a.) haben einen größeren Einfluß auf die erreichbare Geschwindigkeit als die Flossenwirkung, siehe dazu Tabelle 2, in der die wichtigsten Probefahrbedingungen und -ergebnisse der vier Schwesterschiffe wiedergegeben sind.

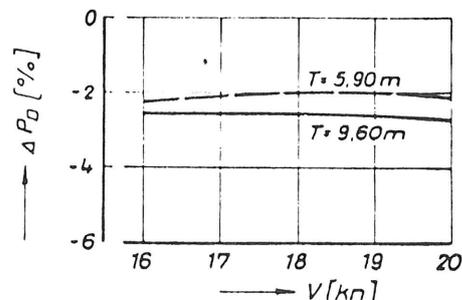


Bild 12: Leistungseinsparung am VCS „Saturn“ durch SVA-Flosse im Modellversuch

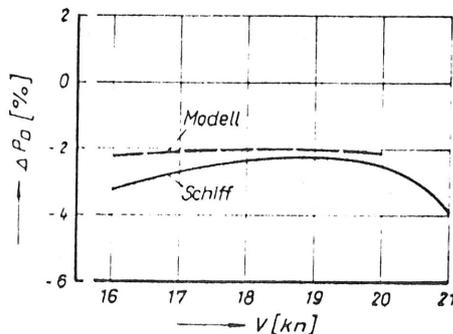


Bild 13: Durch Leitflosse erzielte Leistungseinsparung im Modellversuch und Probefahrt, T = 5,90 m, 1,7 m hecklastig

Ausgerechnet das erste Schiff mit Flosse war infolge eines anderen Anstrichsystems und/oder (im nachhinein festgestellten) Propellerbewuchses wesentlich langsamer als das Schiff ohne Flosse. Die beiden letzten Schiffe mit Flosse, die unter vergleichbaren Bedingungen zum Schiff ohne Flosse auf Probefahrt gingen, haben dann allerdings einen deutlich positiven Einfluß der Flosse auf die erreichbare Geschwindigkeit gezeigt, der für diesen Punkt, der bei normalen Probefahrten ausschließlich vorgefahren wird, wesentlich höher ist als er im Modellversuch ausgewiesen wurde.

Die Probefahrten aller vier Schwesterschiffe wurden mit einem erweiterten Programm – 5 Drehzahlen im Bereich von n = 85 bis n = 130 min – durchgeführt, um eine höhere Datensicherheit zu bekommen und um den Nachweis der Flossenwirkung für den gesamten interessierenden Geschwindigkeitsbereich zu erbringen.

Im Bild 13 werden die Probefahrtergebnisse und die Modellversuchsergebnisse miteinander verglichen. Das Bild zeigt, daß in der

Propulsion

Bau-Nr.	181	182	183	184
Flosse	ohne	mit	mit	mit
Anstrichsystem	SPL	normal	SPL	SPL
Propeller	sauber	bewachsen	sauber	sauber
Probefahrt-Datum	18. 5. 87	14. 9. 87	8. 6. 88	23. 4. 89
Wind/See	2/1	0/0	1/1	4/4

Auf Einheits-Bedingungen umgerechnetes Probefahrtergebnis (n = 130 min⁻¹)

V	[kn]	0	-0,58	+0,49	+0,27
P _D (V = 21 kn)	[%]	0	+9,6	-7,6	-5,2

Tabelle 2: Probefahrtergebnisse VCS „Saturn“ mit und ohne Flosse

Probefahrt etwas größere Gewinne realisiert wurden als im Modellversuch. Bei der Bewertung dieses Ergebnisses darf jedoch der Zufallscharakter von Probefahrtergebnissen, der sich aus teilweise unwägbarer Probefahrtbedingungen ergibt, nicht außer acht gelassen werden.

Weiterhin wird in Bild 13 für die Großausführung ein etwas größerer Einfluß der Geschwindigkeit auf den energetischen Gewinn ausgewiesen als im Modellversuch. Er wird auf die deutlichere Ausprägung des Anteils des Wellenwiderstandes und auf eine mögliche Beeinflussung des Wellenbildes durch die im Ballastfall relativ flach unter der Wasseroberfläche liegende Flosse zurückgeführt.

Zur Kontrolle der Strömungsführung an der Flosse wurden bei Bau-Nr. 182 etwa 20 cm lange Fadensonden netzförmig auf der Flossenoberseite aufgeklebt und während der Probefahrt durch eingefügte Beobachtungsfenster kontrolliert. Dabei wurde eine anliegende Strömung an der Flossenoberseite bis über 90 % der Profiltiefe bestätigt, vgl. [4]. Dasselbe Ergebnis lieferte die Besichtigung im Dock nach Ablauf eines Jahres Schiffsbetrieb. Der von den Fäden überstrichene Be-

reich war im allgemeinen sehr schmal und gab einen Eindruck vom Strömungsverlauf.

Bei den Probefahrten und im bisherigen Schiffsbetrieb wurden keine negativen Einflüsse der Leiteinrichtung etwa auf Kavitation, Schwingungen oder Manöviereigenschaften festgestellt. Als wesentliches Ergebnis der Erprobung ist festzustellen, daß die Wirkung der Flosse vollauf bestätigt wurde.

Zusammenfassung

In der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam wurde ein Leitflossensystem zur Senkung der Antriebsenergie und zur Beeinflussung der Propellerzuströmung entwickelt. Es erschließt bei voller Anwendung für normale Handelsschiffe eine Energieeinsparung von 4 bis 9 %.

Es werden die grundsätzlichen physikalischen Überlegungen dargelegt, die zur Entwicklung des SVA-Flossensystems geführt haben. Die Hauptwirkungen des Flossensystems zielen auf eine Senkung der Antriebsenergie durch Verringerung des Drallverlustes im Propellerstrahl und drallbedingter Folgeberluste sowie auf eine Rückgewinnung von

Energie der Grenzschichtströmung aus großräumigen Wirbelstrukturen.

Für unterschiedliche Schiffstypen werden Modellversuchsergebnisse vorgestellt, und es wird über die Realisierung des Flossensystems am VCS „Saturn“ berichtet. Die Probefahrtergebnisse des VCS „Saturn“ werden mitgeteilt und kommentiert. Sie sind in guter Übereinstimmung mit den theoretischen Analysen und den Modellversuchen und bestätigen die Funktion der Flosse.

Im Vergleich von Modell und Großausführung wird eine Tendenz zu etwas größeren energetischen Gewinnen in der Großausführung sichtbar.

Literatur

- [1] Peters, H.-E., Rinke, A.-Ch.: „Ansätze zur Analyse und Bewertung der Antriebsleistung von „Schiffen“, Internationales Schiffstechnisches Symposium, Rostock, 1989
- [2] Harvald, S. A.: „Resistance and Propulsion of Ships“, J. Wiley, New York, 1983
- [3] Mewis, F., Peters, H.-E.: „Power Savings through a Novel Fin System“, 15th Jubilee Session, SMSS 86, Varna 1986, Proceedings, Vol. 1, p. 9.1–9
- [4] Mewis, F., Peters, H.-E.: „Verbesserung der Propulsion durch ein neuartiges Flossensystem“, Schiffbau Forschung, Sonderheft, „Internationales Rostocker Schiffstechnisches Symposium 1987“, Band 2, S. 19–38
- [5] Peters, H.-E., Mewis, F.: „Erfahrungen beim Einsatz des SVA-Leitflossensystems für den Schiffstyp Saturn“, Schiffbau Forschung, Sonderheft, „Internationales Rostocker Schiffstechnisches Symposium 1989“, Band 1, S. 175
- [6] 1166-TEU-Vollcontainerschiff Typ Saturn“, Seewirtschaft, Berlin, 1988, Heft 2, S. 69–92
- [7] „Technische Neuerungen an Bord des Containerschiffes Typ Saturn“, Hansa, Hamburg, 1988, Nr. 7/8, S. 396–399
- [9] Peters, H.-E., Mewis, F.: „Leiteinrichtung zur Beeinflussung der Propellerzuströmung bei „Schiffen“, Offenlegungsschrift DE 3615619 A1, Deutsches Patentamt, 1986