

28 MAART 1979

ARCHIEF

**Lab. v. Scheepsbouwkunde
Technische Hogeschool
Delft**



Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V.

in Duisburg

4100 Duisburg 1, Klöcknerstraße 77, Telefon 0203/353096/97, Telex 8551288 vbdu d

Untersuchung der Maßnahmen zur Verbesserung der Betriebssicherheit bei Düsenpropellern

Dipl.-Ing. G. Luthra

Sonderdruck aus



Ausgabe Juni 1977

Untersuchung der Maßnahmen zur Verbesserung der Betriebssicherheit bei Düsenpropellern

Dipl.-Ing. G. Luthra

175. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V. Duisburg *)
 Institut an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
 Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen
 e.V. Köln

1. Einleitung

Während sich durch Anordnung der Schiffspropeller in Düsen, besonders bei hohen Schubbelastungen, beträchtliche Gewinne an Vorschub erzielen lassen, ist eine weitverbreitete Anwendung der Düsenpropeller in der Binnen- und Seeschifffahrt trotz der möglichen Wirkungsgradverbesserungen zurückgeblieben. Die wechselnden Betriebsbedingungen, unter denen die Schiffseinheiten zum Einsatz kommen, bewirken zwar, daß der Umfang einer vorteilhaften Anwendung der Düse oft eingeengt wird, aber der Grund für die ungenügende Verbreitung der Düsenpropeller liegt vor allem darin, daß bei der Fahrt auf Binnengewässern die Gefahr besteht, daß sich im Wasser treibende oder von der Flußsohle aufgewirbelte Störkörper (z. B. Holzteile, Trossen, Gummireifen, Plastikreste usw.) in die Düse hineinsaugen und zum Festklemmen des Propellers führen oder ihn bei ihrem Durchgang beschädigen. Bei Seeschiffen können Treibholz und Treibeis zum Festklemmen des Propellers führen.

Um Betriebsstörungen von Düsenpropellern wirkungsvoll begegnen zu können, sind in einer vorangegangenen Arbeit bereits einige Düsenkonstruktionen untersucht und die Ergebnisse veröffentlicht worden, bei denen die Betriebssicherheit höher liegt [1]. Besonders zu erwähnen ist hierbei die Konstruktion mit einer Spiralnute in der Düseninnenkante, die die besten Resultate lieferte. Die Spiralnute bewirkt offensichtlich eine von der Düseninnenwand abweisende Sekundärströmung, wodurch die Empfindlichkeit der Düse gegen Störkörper erheblich vermindert wird.

Da durch die Spaltung des Düsenstroms in einen düseninneren und — äußeren Bereich bei etwa $0,95$ bis $1,0 \times$ Propellerdurchmesser vor der Düse eine kritische Zone unmittelbar vor dem zum Verkleben führenden Bereich zwischen

Flügelspitzen und Düseninnenwand entsteht, muß dieser gefährdete Bereich auf jeden Fall abgesichert werden. Es stellt sich die Frage, ob eine an der Düsenprofilnase mit schlitzförmigem Ringspalt angeordnete schmale Vordüse einen wirksamen Schutz gewährleistet, und zwar derart, daß die Spiralnute weggelassen werden kann, oder aber um als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme angeordnet zu werden. Die Nut-Konstruktion ist herstellungsmäßig aufwendig, was vermutlich auch der Grund dafür ist, daß eine solche Düse in der Praxis bisher nicht erprobt wurde. Das System mit Vordüse bietet die Möglichkeit, durch entsprechende Konstruktion eines Leitflächengitters im Spalt zwischen Vor- und Hauptdüse eine Verbesserung des Wirkungsgrades dieses Doppeldüsen-systems zu erreichen.

In Anknüpfung an früher durchgeführte Versuche mit selbstabweisenden Düsen [1] einerseits, und mit Doppeldüsen-systemen [2, 3 und 4] andererseits, sind in der vorliegenden Arbeit verschiedene Profilformen der Vordüse auf deren Eignung als Schutz- und Leitapparat zur Erhöhung der Sicherheit und des Wirkungsgrades der Düsenpropeller untersucht worden. Im einzelnen sind in Modellversuchen sowohl Freifahrtmessungen durchgeführt als auch das Strömungsbild sowie die Wirksamkeit der Vordüse als Abweiser mittels Unterwasser-Video-Aufnahmen untersucht worden.

Es wird darauf hingewiesen, daß die zur Veranschaulichung des Strömungsbildes benutzten Perlonfäden in etwa die Form der Stromlinien wiedergeben und nicht deren genauen Verlauf beschreiben.

2. Übersicht über die Versuche

Versuchstank	190 m langer, 9,8 m breiter Versuchstank der VBD. Stehendes Wasser, Wassertiefe $h = 1000$ mm.
Versuchsgerät	Großes Propellerfreifahrtgerät der VBD (Kempf und Remmers). Getrennte Aufhängung der Düse in 6-Komponenten-Meßwaage.
Propeller	Nr. 188 r. Propellerzeichnung und -daten s. Abb. 1
Düsen	D 135) — Hauptdüse einfacher Bauart nach VBD-Entwurf Abb. 2 D 136) Vordüse mit veränderter Profilwölbung bzw. -anstellung D 137) — und unterschiedlichem Durchmesser, der in allen 3 Fällen D 138) kleiner war als der Außendurchmesser der Hauptdüse Abb. 3
Tauchtiefe, Propellerdrehzahl	Mitte Welle 315 mm entspr. $1,5 \times$ Propellerdurchmesser unter Wasserspiegel. Propellerantrieb durch Synchronmotor. Drehzahl $N_{Prop} = 12,5 \text{ sec}^{-1}$
Messungen	Propellerschub und Drehmoment mechanisch mit Federelementen. Düsen Schub mittels Ringdynamometer, bestückt mit DMS in 6- Komponenten-Meßwaage über Meßverstärker. Datenerfassung über Saba-EDE-Anlage der VBD.
Funktionserprobung	In die Strömung vor dem freifahrenden Düsenpropeller gehaltene Perlonschnur von 3 bis 6 mm Durchmesser sowie Gummischläuche und -ringe. Unterwasseraufnahmen des Strömungsbildes und der Funktionsdokumentation der Vordüse unter Verwendung von Stro- boskop auf Video-Band, Bildwiedergabe auf CRT-Monitor

3. Versuchsvarianten

Die Versuche wurden mit 3 Varianten der Vordüse, in Verbindung mit einer Hauptdüse, durchgeführt.

3.1 Hauptdüse

Im Gegensatz zu früheren Versuchen, bei denen die Düsenformgebung nach

NACA-Profilen vorgenommen wurde, ist für die vorliegende Untersuchung die Standarddüse nach VBD-Entwurf gewählt worden. Diese Düse ist in der Praxis bekannt und stellt eine repräsentative Vergleichsbasis dar. Sie wurde in den Abmessungen möglichst groß gehalten, damit der gegebenenfalls vorhandene Ein-

*) Die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V., Köln, hat der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg, auf deren Antrag in dankenswerter Weise die Durchführung des Versuchsprogramms zum oben genannten Thema ermöglicht und das Vorhaben aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft gefördert.

fluß der Reynolds-Zahl gering bleibt. Der Spalt zwischen Propellerflügelspitze und Düseninnenwand, der in der Großausführung üblicherweise etwa 15 mm beträgt, wurde nicht maßstabsgetreu verkleinert. Er wurde vielmehr aufgrund des Grenzschnittvergleichs auf 2,5 mm festgesetzt.

Die Abmessungen der Düse sowie die Profilform sind der Abb. 2 zu entnehmen.

3.2 Vordüsen

Die drei Varianten der Vordüse unterscheiden sich im Durchmesser und in der Profilwölbung bzw. Profilanstellwinkel. In allen 3 Fällen ist der Durchmesser so gewählt, daß der eingangs erwähnte, gefährdete Bereich zwischen Propellerflügelspitzen und Düseninnenwand vollständig abgeschirmt wird. Ein weiterer Versuchsparameter ergibt sich aus der Veränderung des Abstands bzw. des Spalts zwischen der Haupt- und der jeweiligen Vordüse. Die Variation der Spaltbreite wurde innerhalb der Grenzen, wie sie von den bereits durchgeführten Versuchen mit Doppeldüsen-Systemen [2 und 3] einerseits und mit Spaltprofilpropeller [6] andererseits bekannt sind, vorgenommen.

Die untersuchten Längsabstände von Profillinse der jeweiligen Vordüse bis zur Profillinse der Hauptdüse waren wie folgt eingestellt:

	D 135/ D 136	D 135/ D 137	D 135/ D 138
Stellung 1 (größter Abstand)	56 mm	56 mm	45 mm
Stellung 2 (mittlerer Abstand)	35 mm	35 mm	30 mm
Stellung 3 (kleinster Abstand)	21 mm	21 mm	15 mm

Der Überstand der Vordüse über die Länge der Hauptdüse hinaus, ausgedrückt in Anteilen der eigenen Länge der Vordüse außerhalb der Einlauföffnung der Propellerdüse, ist der nachfolgenden Zusammenstellung zu entnehmen:

	D 135/ D 136	D 135/ D 137	D 135/ D 138
Profilängen- verhältnis L_D / L_D V_H	22,2 %	22,2 %	31,7 %
Durchmesser- verhältnis D_V / D_H außen	82,9 %	88,5 %	98,2 %
innen	90,2 %	97,0 %	90,2 %
Überstand:			
Stellung 1	160 %	160 %	90 %
Stellung 2	100 %	100 %	60 %
Stellung 3	60 %	60 %	30 %

Die Abmessungen sowie Profilformen aller 3 Vordüsen werden in Abb. 3 wiedergegeben.

4. Versuchsdurchführung

Im ersten Teil der Versuche wurden die Anordnungsvarianten hinsichtlich Schub, Drehmoment und Wirkungsgrad untersucht, um Vergleichswerte gegenüber der Normalausführung zu erhalten. Die neue Meßeinrichtung zum Aufmessen des Düsenstubs war von den vorangegangenen Düsenversuchen [10] her vorhanden und erprobt. Sie wird deshalb auch hier nicht erneut beschrieben.

Die größte der 3 Varianten der Vordüse, D138, erwies sich wirkungsgradmäßig als ungünstig, so daß sie für weitere Versuche nicht mehr benutzt wurde. Die weiteren Versuche unter dem 1. Teil beinhalten die Untersuchungen hinsichtlich der Form und Anordnung der Befestigungsstützen im Spalt zwischen Vor- und Propellerdüse. Sie waren in Anzahl und Profil als Leitflächengitter so angestellt, daß die Spaltströmung dem Düsenzustrom einen Gegendrall zum Propeller erteilt. Darüber hinaus wurde die Beeinflussung der Rückwärtseigenschaften des Düsen-Systems durch Anordnung sowohl der Vordüse als auch des Leitflächengitters untersucht.

Die Prinzipskizze des Leitflächengitters sowie die profilierten Befestigungsstützen werden in Abb. 4 und 5 gezeigt.

Im zweiten Teil der Versuche wurden die Strömungsverhältnisse im Zustrombereich der Düse sowie die Empfindlichkeit der Düsenvarianten gegen Störkörper untersucht. Zur Ermittlung des Strömungsbildes wurde ein in kreisförmigem Rahmen von doppeltem Hauptdüsendurchmesser befestigtes Wabengitter aus Aluminium-Lamellen mit Wabenöffnung von 20 mm konzentrisch vor der Düse angeordnet. Der Rahmen war an einem Schlitten auf dem Meßwagen befestigt, um den Abstand zwischen diesem und der Düse beliebig ändern zu können. In der mittleren senkrechten Ebene des Wabengitters waren mehrere Perlonfäden von 3 mm ϕ und ca. 450 mm Länge in regelmäßigem Abstand angeordnet, um den Strömungsverlauf „sichtbar“ zu machen. Die Unterwasser-Video-Camera war waagrecht zur Düse in einem seitlichen Abstand von 4,0 m untergebracht und registrierte den Verlauf der Stromfäden im Düsenzustrom laufend, als das Wabengitter näher zur Düse oder umgekehrt bewegt wurde. Die Versuchsanordnung sowie einige Aufnahmen des Strömungsbildes, die nachträglich vom CR-Monitorschirm gemacht wurden, sind in den Foto-Anlagen 1 bis 4 wiedergegeben.

Zur Beurteilung der Schutzwirkung der Vordüsen wurden vergleichende Versuche durchgeführt. Für diesen Zweck wurden die Modelle von Störkörpern in dem Düsenzustrom wiederholt und in verschiedenen Stellungen gehalten und von der Haltestange entweder getrennt oder durch den auftretenden Sog gelöst. Als Hilfsmittel für die visuelle Beobachtung

und für die Video-Aufnahmen wurde ein von der Propellerwelle über fotoelektrische Diode synchron gesteuertes Stroboskop benutzt. So konnten die Ablenkung und Passier- oder Klemmvorgänge in der Düse gut beobachtet werden. Als Modelle von Störkörpern wurden Perlonseil und Gummischläuche (ϕ 5 bis 6 mm) in verschiedenen Längen sowie Gummiringe verwendet.

5. Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Versuche hinsichtlich der Freifahrtmessungen sind in der üblichen Auftragsweise in den Abb. 6 bis 13 dargestellt, während die Foto-Anlagen 1 — 4 einige Bilder von der Funktionserprobung enthalten; diese wurden nachträglich von den Video-Aufnahmen angefertigt und dienen in erster Linie zur Vermittlung eines qualitativen optischen Eindrucks.

5.1 Freifahrtmessungen, Vorausfahrt

5.1.1 Anordnung der Vordüsen zur Propellerdüse

Der Einfluß der Stellung der Vordüse in Relation zur Hauptdüse, d. h. der Einfluß der Spaltbreite auf Schub- und Drehmoment wird in Abb. 6 und 7 für die Düsenkombination D135/D138 bzw. D135/D136 dargestellt. Es zeigt sich, daß die geringste Spaltbreite von 3 mm, wie sie an der Vordüse D138 (Abb. 6) untersucht wurde, am ungünstigsten ist. Die beiden anderen Stellungen dieses Düsen-Systems liefern zwar bessere Resultate, aber der Wirkungsgradabfall von einigen Prozentpunkten gegenüber der Normalausführung bleibt bestehen.

Die mittlere und die kleine Variante der Vordüse unterscheiden sich hinsichtlich der Freifahrtergebnisse kaum oder nur unwesentlich. Auch der Einfluß der Spaltbreite ist gering. Wie die Abb. 7 (D135/D136) zeigt, ist die Stellung 3 im Vergleich zu anderen Stellungen lediglich im Wirkungsgradoptimum etwas günstiger. Die Spaltbreite beträgt in diesem Fall 15 mm. Der entsprechende Wert für das Düsen-System D135/D137, dessen Ergebnisse sich analog verhalten und deswegen hier nicht wiederholt werden, ist 8 mm.

Gegenüber der Normalausführung bringen die Anordnungen mit den letztgenannten Varianten der Vordüse im Fortschrittsgradbereich bis zu $J = 0,35$ kaum einen nennenswerten Abfall im Wirkungsgrad. Er wird erst bei höheren Fortschrittsgraden geringer und fällt im Optimum bei $J = 0,54$ um $\Delta\eta = 0,016$, d. h. 1,6 Prozentpunkte ab. Den vollständigen Vergleich der Beiwerte mit denen der Normalausführung zeigt Abb. 11 (durchgezogene Linien).

5.1.2 Einfluß des Leitflächengitters

Die Profilform, Abmessungen sowie die Anstellung der Befestigungsstützen im Spalt zwischen Vor- und Propellerdüse sind in den Abb. 4 und 5 angegeben. Es

Auf Normalausführung bezogene Änderung der Beiwerte für verschiedene Vordüsenanordnungen

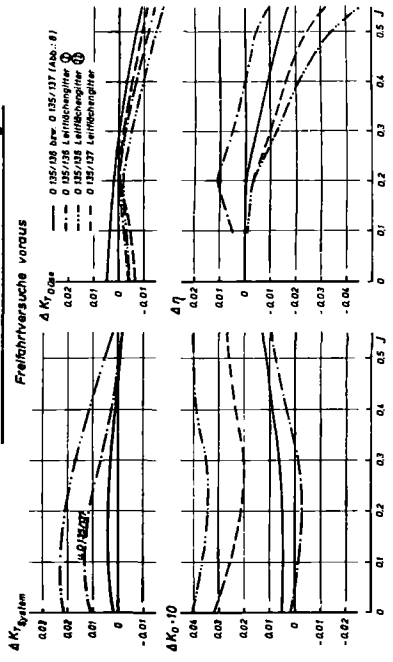


Abb. 11

Freifahrtsmessungen Rückwärtsfahrt und -drehinn

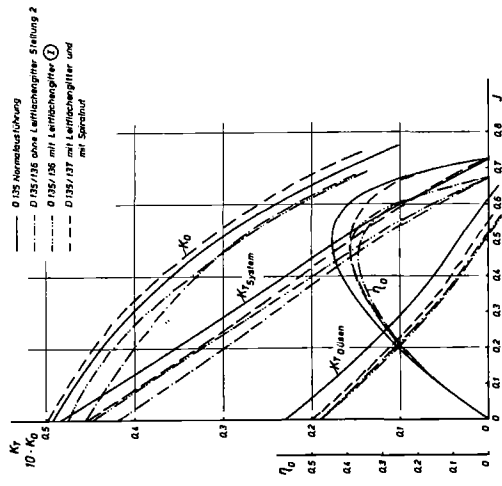


Abb. 12

Freifahrtsmessungen Rückwärtsfahrt und -drehinn

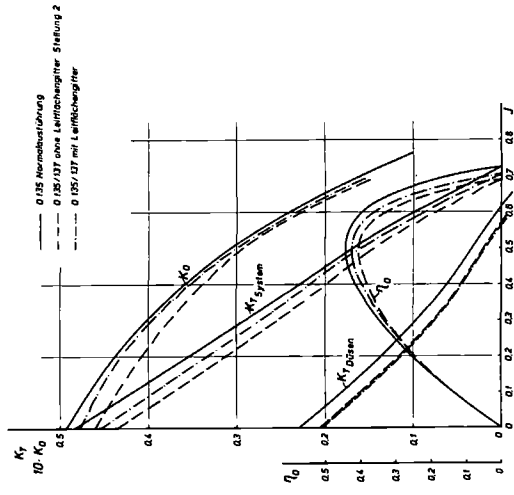


Abb. 13

Skizze der Versuchsanordnung Stromfädenversuch

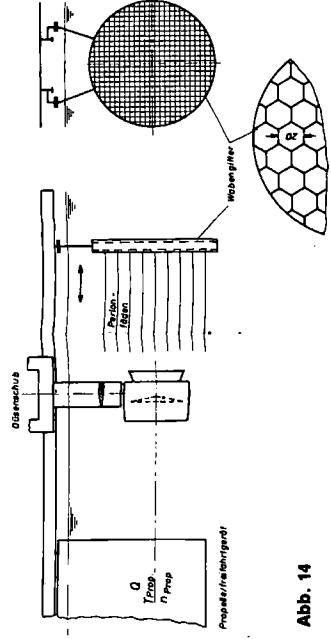
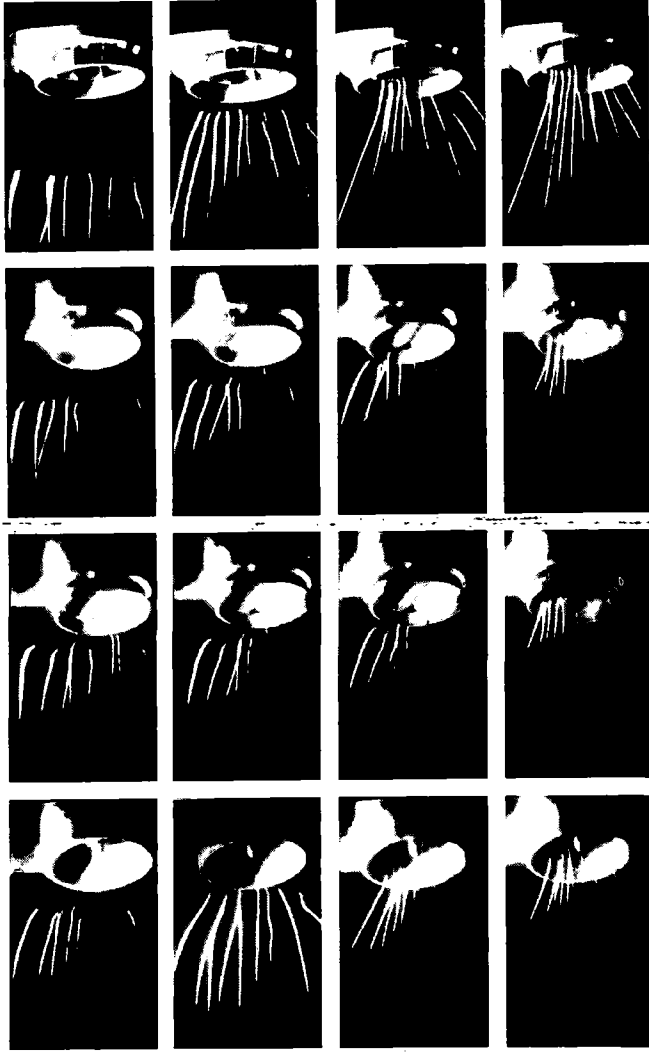


Abb. 14

Stromfädenversuch
 Fortschrittsgeschwindigkeit
 $V_M = 0,33 \text{ m/s}$
 $J = 0,125$



Propellerdüse 135, ohne Vordüse

Propellerdüse 135 mit Vordüse 136

Propellerdüse mit Vordüse 137

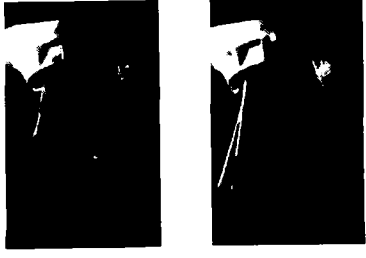
Propellerdüse 135 mit Vordüse 136 mit Leitflächengitter I

Darstellung der Strömungsverhältnisse im Schlitz zwischen Propeller- und Vordüse

Propeller 135 mit Vordüse 136 mit Leitflächengitter

Fortschrittsgeschwindigkeit
 $V_M = 0,33 \text{ m/s}$
 $J = 0,125$

oben: Äußere Fäden manuell in den Schlitz hineingeführt



Mitte: Fädenhalterung näher zur Düse geschoben
 Äußere Fäden werden vom Düsensoog nach Innen abgelenkt

unten: Äußere Fäden lösen sich infolge der Sogkraft des Düsenstrahls von der Vordüse

Funktionsprüfung bei Rückwärtsfahrt
 Propellerdüse 135 mit Vordüse 136 mit Leitflächengitter, Spiralfaden in der Propellerdüse als Abweiser

Fortschrittsgeschwindigkeit
 $V_M = 0,33 \text{ m/s}$
 $n_{\text{Rückw.}} = 12,5 \text{ UPS}$



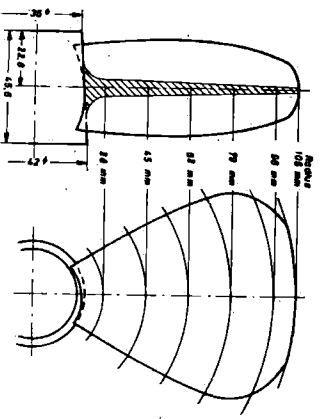
Propellerdüse 135 ohne Vordüse

Vordüse 137 als Abweiser

Vordüse 136 als Abweiser

Vordüse 136 mit Leitflächengitter I

Verkleben eines Perlonfadens im Spalt zwischen Propellerflügelspitze und Düse



$D = 210 \text{ mm}$
 $P_{\text{Nenn}} = 221 \text{ mm}$
 $P_{\text{Dreh}} = 1,052$
 $A_{\text{Sk}} = 0,271$
 $d = 39 \text{ mm}$
 $Z = 4$
 $C_{\text{Nenn}} = 88,4 \text{ mm}$

Abb. 1: Propeller 188 r

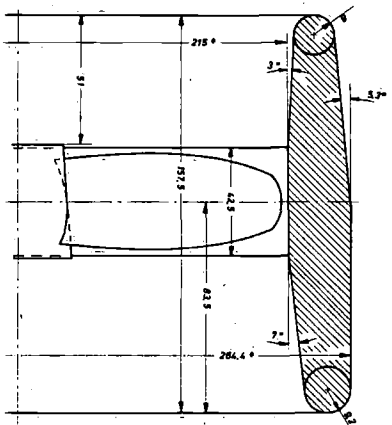


Abb. 2: Propellerduse (nach VBD-Entwurf) D-135

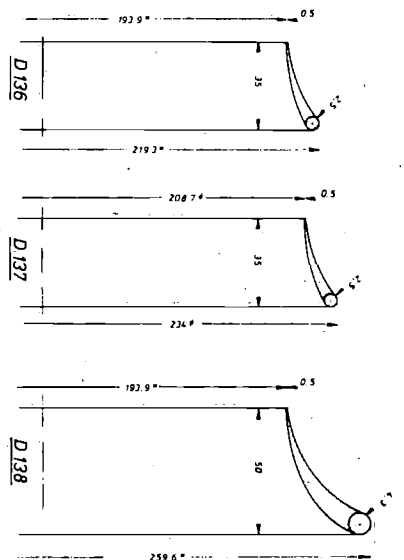


Abb. 3: Vordüsen

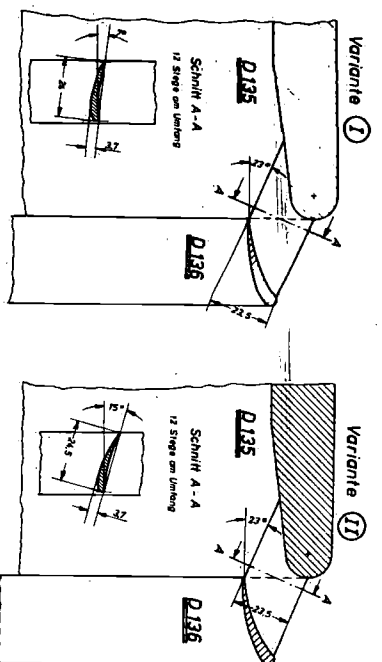


Abb. 5: Leitflächengitter

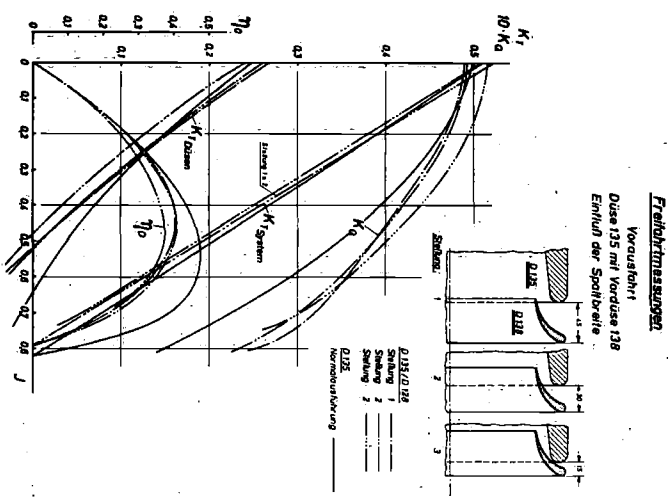


Abb. 6

Freifahrtsmessungen
 Vordüse 135 mit Vordüse 138
 Einfluß der Spaltbreite

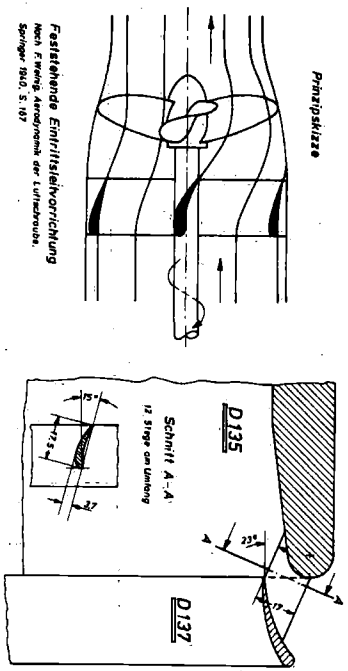


Abb. 4: Leitflächengitter

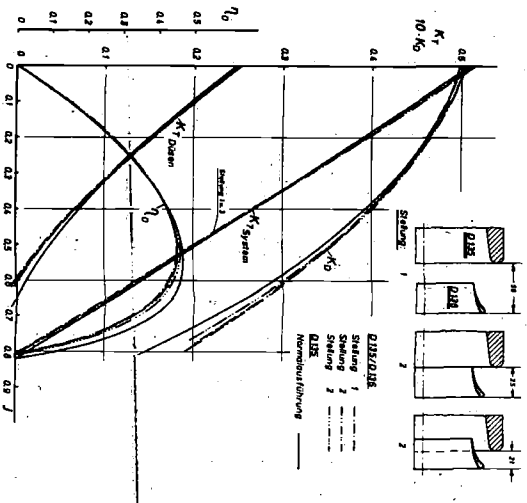


Abb. 7

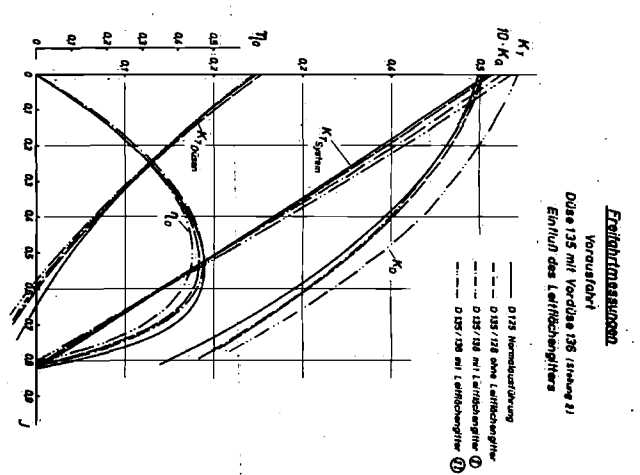


Abb. 8

Freifahrtsmessungen
 Vordüse 135 mit Vordüse 137 (Stang 2)
 Einfluß des Leitflächengitters

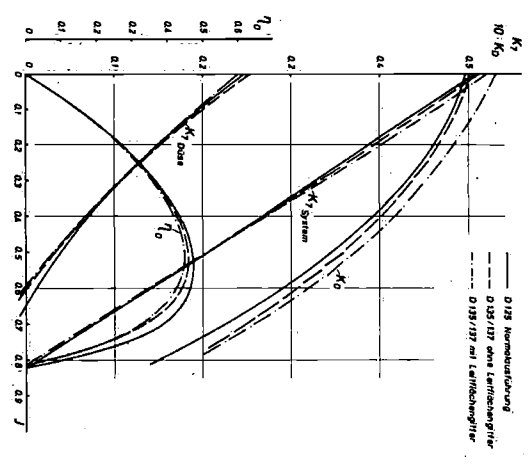


Abb. 9

Einfluß des Leitflächengitters im Spalt zwischen Vor- und Propellerduse
 Änderung der Bewerte gegenüber dem Doppeldüsenystem ohne Leitflächengitter
 Freifahrtsversuche voraus

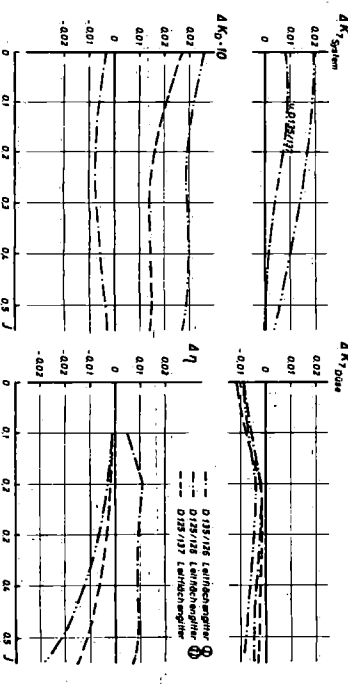


Abb. 10

waren jeweils 12 solcher Profile bei Stellung 2 des Doppeldüsen systems zu einem Leitflächengitter ausgebildet. Für die Düsenkombination D135/D136 mit größerer Spaltbreite wurden zwei Varianten untersucht. Sie unterscheiden sich in Anstellwinkel und Profiltiefe. Bei D135/D137 ist die Spaltbreite klein, wodurch nur die geringe Profiltiefe für die Gitterstege in Frage kommt.

Die Ergebnisse der Freifahrtmessungen sind in den Abbildungen 8 und 9 aufgetragen und den jeweiligen Ausgangsresultaten gegenübergestellt. Die durch Leitflächengitter hervorgerufenen Änderungen der Freifahrtkenngößen gegenüber dem Doppeldüsen system ohne Leitflächen sind in Abb. 10 wiedergegeben. In allen drei Fällen liegt der Schubbeiwert vergleichsweise höher, während der Düsen schub erwartungsgemäß geringer ist. Es zeigt sich ferner, daß das vom Propeller aufgenommene Drehmoment bei den schmaleren und in radialer Richtung steiler angestellten Varianten der Leitflächen ebenfalls höher ist. Diese beiden Varianten verbessern den Wirkungsgrad nicht. Dagegen bringt das mit I bezeichnete Gitter, bestehend aus radial angeordneten profilierten Verbindungsstegen, einen Gewinn bezüglich des Wirkungsgrades, der durchweg etwa 1,0 Prozentpunkt beträgt. Dieser bleibt auch gegenüber der herkömmlichen Düsenausführung (Abb. 11) in dem für Binnenschiffe interessanten Bereich des Fortschrittgrads erhalten.

5.2 Freifahrtmessungen, Rückwärtsfahrt

Die Ergebnisse der Freifahrtmessungen bei Rückwärtsfahrt und -drehsinn des Propellers sind für das Doppeldüsen system D 135/D 136 in Abb. 12 und für D 135/D 137 in Abb. 13 aufgetragen. Bei größerer Abdeckung des Propellerstrahls, wie dies im Falle D135/D136 vorliegt, ist der Verlust im Wirkungsgrad größer. Das Leitflächengitter bei beiden Varianten der Vordüse bringt jedoch Verbesserungen mit sich, so daß die verbleibenden Wirkungsgradverluste z. B. bei $J = 0,3$ nur noch 1,5 und 2,5 Prozentpunkte für D135/D137 bzw. D135/D136 betragen. Der günstige Einfluß des Leitflächengitters auf den Wirkungsgrad ist bei rückwärtsdrehendem Propeller und Rückwärtsfahrt größer als in Vorausrichtung.

In Anbetracht dessen, daß die Vordüse bei Rückwärtsfahrt (bzw. -drehsinn) keinen Schutz gegen die Störkörper bietet, ist eine weitere Düsenanordnung in Erwägung gezogen und untersucht worden. Hierbei wurde zusätzlich zur Vordüse eine Spiralnute auf der Innenseite der Propellerdüse, wie sie von Versuchen in [1] bereits bekannt ist, angebracht. Die trapezförmige Spiralnute wurde für die Rückwärtsfahrt bei linksdrehendem Propeller rechtsgängig gehalten. Im Freifahrtversuch erbrachte diese Anordnung keine nennenswerten Unterschiede im Wirkungsgrad gegenüber der vergleich-

baren Variante ohne Nute (Abb. 12). Sowohl der Propeller- und Düsen schub als auch die Momentenbeiwerte liegen höher.

5.3 Strömungsbild

Die Strömungsbilder im Ansaugbereich der Düsenvarianten wurden auf Video-Band festgehalten. Zur Fixierung eines optischen Eindrucks sind hiervon nachträglich noch einige Aufnahmen gemacht worden, die die Richtung der Strömefäden in verschiedenen Entfernungen vor der jeweiligen Düsenöffnung zeigen. Diese werden für die wichtigsten vier Anordnungen in Foto-Anlagen 1 bis 4 wiedergegeben. Es kann naturgemäß von diesen Aufnahmen keine hervorragende Qualität erwartet werden. Sie können auch nicht sämtliche Phasen im Bewegungsablauf, als die Fädenhalterung zur Düse hin bewegt wurde, dokumentieren. So ist z. B. nicht zu erkennen, daß die je nach Anordnungsvariante mehr oder minder starke Konvergenz der äußeren Stromfäden nach der Einschnürung in der Düsen einlauföffnung ruckartig zu paralleler Strömung umschlägt. Der Umschlag ist um so kräftiger, je stärker die anfängliche Konvergenz (Foto-Anlage 1 ohne und mit Vordüse). In solchen Fällen liegt die Schlußfolgerung auf der Hand, daß kleinere Störkörper durch den so entstehenden Stoßeffect zur Düseninnenwand hin geschleudert werden. Durch die Anordnung des Leitflächengitters wird diese Erscheinung günstig beeinflusst. Der bei der Ausgangsdüse im Umfang weit verbreiterte Ansaugbereich, unmittelbar vor der Einlauföffnung, wird sowohl durch die Vordüse als auch durch die Leitflächen in noch stärkerem Maße nach vorn verlagert. Gleichzeitig verringert sich seine seitliche Ausdehnung.

Die hier wiedergegebenen Unterwasseraufnahmen wurden bei einer Fortschrittgeschwindigkeit von 0,33 m/s, entsprechend dem Fortschrittgrad von $J = 0,125$, gemacht. Dagegen enthält das Video-Band Aufnahmen bei verschiedenen Geschwindigkeiten bis $J = 0,2$. Ein wesentlicher Einfluß der Geschwindigkeitsänderung auf den Stromfädenverlauf wurde nicht festgestellt.

5.4 Funktionserprobung, Vorausrichtung

Wie eingangs bereits erwähnt, wurde die Funktionserprobung hinsichtlich der abweisenden Wirkung der Düsen systeme durch Einschwimmen von verschiedenen Fremdkörpern vor der jeweiligen Düse vorgenommen. Die Beobachtung der Vorgänge erfolgte sowohl visuell als auch mit Video-Gerät.

Die Störwirkung der Fremdkörper ließ sich am besten mit geflochtenen Perlonfäden von 6 mm Durchmesser feststellen. Während dünnere Fäden diesen Zweck nicht erfüllten, wurde eine noch größere Fadenstärke vermieden, um ein Festklemmen bzw. eine Beschädigung des Propellers oder der Meßgeräte zu ver-

meiden. Die oft wiederholten Versuche zeigten, daß in der Düse in Normalausführung die Fäden praktisch immer zur Düseninnenwand abgelenkt wurden und in den Spalt zwischen Propellerflügelspitze und Düse gerieten.

Bei der größeren der beiden untersuchten Vordüsen (d. h. bei D135/D137) ließ sich zwar eine Verbesserung feststellen, aber es gerieten immer noch einige Fäden in den zum Verklebmen führenden Spalt. Verantwortlich hierfür ist in diesem Fall und bei der Düse in Normalausführung wahrscheinlich der unter 5.3 beschriebene stoßartige Umschlag der konvergierenden äußeren Stromfäden im Düsenzustrom.

Die beste Schutzwirkung zeigte die Vordüse 136. Die Störkörper wurden ausnahmslos von der Düsenwand und damit von dem gefährdeten Spaltbereich zur Düsenmitte hin abgewiesen, wo sie beim Trennen der Verbindung zur Haltestange ohne zu verklebmen nach hinten ausgestoßen wurden. Die vorgehaltenen, relativ langen Perlonfäden wurden teilweise so stark nach innen abgelenkt, daß sie sich um die Propeller nabe wickelten. Sie blieben aber nur so lange dort, bis sie an einer Schleife von dem Propellerflügel erfaßt wurden. Durch den Schlag lösten sie sich von der Haltestange und passierten dann die Düse ohne weitere Verzögerung. In diesem Zusammenhang ist noch zu erwähnen, daß die Propeller nabe im Freifahrtversuch im Gegensatz zu der Anordnung am Schiff in umgekehrter Richtung, d. h. vor dem Propeller angebracht ist. Deshalb ist anzunehmen, daß die letztgenannte Beobachtung auf das Schiff nicht übertragbar ist. Für den Schutzeffect der Vordüse hinsichtlich der Abweisung der Störkörper von der Düsenwand ist jedoch keine nennenswerte Beeinflussung durch unterschiedliche Anordnung der Propellerwelle bzw. -nabe zu erwarten. Dies gilt auch für die Strömungsverhältnisse im Schlitz zwischen den beiden Düsen. Durch die vorverlegte Spaltung des Düsenzustroms gerieten die Schnurenden von selbst niemals in den Schlitz. Als sie dort hineingeführt wurden, hafteten sie fest an der Vordüse, was die Schnüre daran hinderte, durch den Schlitz in die Düse hineinzugelangen. Sie wurden vielmehr von dem Sog des Düsenzustroms zur Düsenmitte hin gezogen, bis die Sogkraft so groß wurde, daß das in den Schlitz eingeführte Schnurende sich von der Vordüse löste und in die Ansaugströmung des Düsen systems legte. In den Düsenzustrom gelangt, verhielt es sich dann genau so wie die dort vorgehaltenen Störkörper. In Foto-Anlage 2 ist versucht worden, die wichtigsten Phasen dieses Vorgangs, d. h. das Haften der Schnurenden im Schlitz, das zur Düsenmitte gerichtete Ansaugen und das Losreißen der Schnurenden von der Vordüse infolge der Sogwirkung in Aufnahmen wiederzugeben.

Die Anordnung des Leitflächengitters begünstigt diesen Vorgang. Bei einer sol-

chen Anordnung war es außerdem kaum möglich, die Störkörper bzw. Schnuren in den Schlitz hineinzuführen. Eine weitere Beeinflussung des Gitters auf die abweisende Wirkung der Vordüse war nicht feststellbar.

5.5 Funktionserprobung, Rückwärtsfahrt

In der Rückwärtsfahrt war zu prüfen, ob die im Düsenaustritt angesaugten und zur Einlauföffnung ausgestoßenen Störkörper bzw. Perlonfäden in den Schlitz zwischen den beiden Düsen gelangen oder von den Leitflächen dort eingefangen werden und so zu Beschädigungen führen können. Zugleich war die Wirksamkeit der Spiralnute als Abweiser für Störkörper aus der Rückwärtsrichtung zu testen.

Die mit Perlonfäden durchgeführten Versuche zeigten erstens, daß diese durch die Nute von der Düseninnenwand wirksam abgewiesen werden. Da der Diffusor-Öffnungswinkel wesentlich kleiner ist als der der Einlauföffnung, tendieren die Fäden ohnehin dazu sich mehr nach der Düsenmitte zu richten. Nach den Modellversuchen beurteilt, ist die abweisende Wirkung der Nute in diesem Fall offensichtlich ausreichend.

Als zweites Ergebnis ließen die Versuche erkennen, daß der Schlitz und die dort angeordneten Leitflächen keinen Fänger für Störkörper darstellen. Die austretenden Perlonfäden passierten das Düsenystem durch die Hauptöffnung ohne die Vordüse zu streifen oder dort zu haften.

6. Zusammenfassung

Zur Verbesserung der Betriebssicherheit von Düsenpropellern sind in der vorliegenden Arbeit verschiedene Profilformen einer Vordüse zur Propellerdüse als Abweiser untersucht worden. Die Versuche erstreckten sich auf Wirkungsgradmessungen des Gesamtdüsenystems einerseits und auf Prüfung der Schutzwir-

kung der Vordüse andererseits. Zur Verdeutlichung der Strömungseinflüsse der Vordüse sind darüberhinaus Stromfädenversuche durchgeführt und die Strömungsbilder mittels Unterwasseraufnahmen auf Videoband festgehalten worden. Einige Reproduktionen von diesen Aufnahmen in Form von Fotos werden dem Bericht beigelegt.

Die Abmessungen der Vordüsen, die mit einem schlitzförmigen Ringspalt an die Propellerdüse angeordnet werden, sind so gewählt worden, daß sie den zum Verkleben führenden Spalt zwischen Propellerflügelspitzen und Düseninnenwand vollständig abschirmen, die Düsenlänge aber nicht wesentlich vergrößern, damit der Raumbedarf gering bleibt und die Anordnung von Flankenrudern nicht erschwert wird.

Wirkungsgradmäßig lassen die Versuche erkennen, daß dieser durch Anordnung eines Leitflächengitters im Spalt zwischen den beiden Düsen nach Art einer feststehenden Leitrad-Konstruktion verbessert wird. Im vorliegenden Fall betrug der Wirkungsgradgewinn gegenüber der Normaldüse 1 Prozentpunkt. Bei Rückwärtsfahrt und -drehsinn des Propellers ist der mit Leitflächen erzielte Gewinn wesentlich größer. Allerdings hebt dieser die Verluste nicht ganz auf, die die Vordüse durch Abdeckung des Schraubenstrahls verursacht.

Die Beeinflussung der Zuströmung durch die Vordüse ist günstig derart, daß die Störkörper, Trossenreste usw. von der Düseninnenwand und damit von dem meist gefährdeten Bereich abgewiesen werden. Bedenken, daß die Störkörper durch den Schlitz in die Düse hineingelangen und so zum Spalt zwischen Propellerflügelspitze und Düseninnenwand geführt werden könnten, wurden nicht bestätigt.

Das gleiche gilt auch für die Rückwärtsfahrt insofern, als die bei Rückwärtsfahrt und -drehsinn des Propellers

im Schraubenstrahl ausgestoßenen Störkörper das Düsenystem durch die Hauptöffnung verlassen, ohne die Vordüse zu streifen oder dort zu haften. Für die Funktionserprobung in der Rückwärtsrichtung war eine Spiralnute in der Düseninnenkarte [1] als zusätzliche Maßnahme zur Erhöhung der Betriebssicherheit der Düse beim Stoppen bzw. bei Rückwärtsfahrt bereits angebracht. Die durchgeführten Versuche lassen die abweisende Wirkung der Nute in dieser Richtung als ausreichend erkennen.

Literaturverzeichnis

- [1] Schmidt-Stiebitz, H.
Luthra, G.; Untersuchung selbstabweisender Propellerdüsen
Schiff und Hafen, Heft 9/1970
- [2] Sturtzel, W.
Adam, U.; Untersuchung der Wirkungsgradverbesserung an Spaltdüsenystemen...
Forschungsberichte 1116 und 1324
- [3] Sturtzel, W.
Schmidt-Stiebitz, H.; Untersuchung der Querkräfte und der Propulsionsgütegrade von Spaltdüsen mit steuerbarer Sekundärdüse
Forschungsbericht 1727 des Landes Nordrhein-Westfalen
- [4] Schmidt-Stiebitz, H.
Luthra, G.; Untersuchung der Manöviereigenschaften von Binnenschiffen mit Doppeldüse
Schiff und Hafen, Heft 6/1971
- [5] Dickmann, H.
Weissinger, J.; Beitrag zur Theorie optimaler Düsenpropeller
Jahrbuch STG 1955
- [6] Luthra, G.; Untersuchung eines in Schraubenebene geteilten Verstellpropellers
Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen, Heft 3/1974
- [7] van Manen, J. D.
Osterveld, M.W.C.; Analysis of Ducted Propeller Design. Trans. SNAME 1966
- [8] Osterveld, M.W.C.; Ducted Propeller Characteristics
Proc. of Symposium on Ducted Propellers, RINA 1973
- [9] Shpakoff, V. S.; Hydrodynamic Characteristics of Ducted Propellers Affected by Environmental Conditions
Proc. of Symp. on Ducted Propellers RINA 1973
- [10] Luthra, G.; Untersuchung einer geteilten Propellerdüse
Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen
Heft 4/1976