

# Naturgroße Untersuchung selbstabweisender Propellerdüsen

---

178. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg,

Institut an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule, Aachen,

Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V., Köln

Dr.-Ing. Schäle

Die Mittel zur Durchführung dieser Untersuchung stellte dankenswerterweise die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen zur Verfügung.

Eigendruck der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg,

# Naturgroße Untersuchung selbstabweisender Propellerdüsen

## 1. Einleitung

Eine düsenartige Ummantelung des Schiffspropellers bringt bei kleinen Fortschrittsgraden durch Erhöhung des Gesamt-schubes beträchtliche Vorteile, die vor allem bei Binnenmotorschiffen, Hafenschleppern und Schubbooten von großer Bedeutung sind.

Die Verschmutzung der Gewässer durch Treibgut, wie Holz, Autoreifen, Plastikmaterialien und Bruchstücke von Trossen, aber auch Sohlengeschiebe, verfilztes Gestrüpp, Maschendrahtgewirr und sonstigen Zivilisationsmüll sind jedoch Ursache für nachhaltige Störungen in einem solchen, gegenüber Fremdkörpern empfindlichen Düsensystem. Es kommt häufig nicht nur zum Festfahren der Propeller, sondern zu Getriebe- und Wellenbrüchen, also Schäden von erheblichem Ausmaß mit u.U. hohen Folgekosten durch Ausfallzeiten. Neben der Kostenbelastung der Betroffenen entsteht bei Eintritt der Blockierung aber noch extreme Havariegefahr.

Diese Risiken haben trotz der bekannten betriebswirtschaftlichen Vorteile der Düsen teilweise zu ihrer Entfernung geführt. Neubauten werden nur dann noch mit Düsen ausgerüstet, wenn der benötigte Propeller bei sehr hohen Schubbelastungsgraden arbeitet (Schubboote).

Die je nach Schiffstyp und Fahrtbedingungen zu verzeichnende Zunahme des wirksamen Schubes von 15 bis 30 %, die für die gesamte Betriebszeit erreicht wird und nur ein einziges Mal Kosten verursacht - nämlich die Investitionskosten - sollte jedoch, wenn irgend möglich, genutzt werden.

Um die Vorteile in der Praxis zu erhalten, Schädigungen an vorhandenen Düsensystemen erheblich zu mindern und einen neuen Interessentenkreis zu gewinnen, hat die VBD bereits vor einiger Zeit diesbezügliche Untersuchungen im Modellmaßstab ausgeführt, die nach Variationen verschiedener Methoden zu einem System führte, das einerseits generell fremdkörperabweisend war und andererseits bei nur geringem Kostenaufwand schubverlustfrei realisierbar zu sein schien 1.

Vor Abgabe von Empfehlungen für die Praxis ist es bei solchen Objekten jedoch unumgänglich, eine Überprüfung an einem naturgroßen, gleichgestalteten Objekt vorzunehmen. Einer solchen Vergleichsuntersuchung diente dieses Forschungsvorhaben

## 2. Versuchsträger

Für naturgroße Untersuchungen in Abmessungen, bei denen keine Maßstabseinflüsse oder sonstige, das Meßergebnis wesentlich beeinflussende Störungen vorhanden sind, verwendet die VBD das Forschungsschiff "FRITZ HORN" 2.

Das Hinterschiff ist so gestaltet, daß auch ein Düsensystem entsprechender Größe geprüft werden kann, wobei die Nachstromverteilung allerdings erheblich günstiger ist als bei herkömmlichen Binnenfrachtschiffen.

Abb. 1 zeigt den Generalplan des Schiffes und Abb. 2 den Stahlplan des Hinterschiffes mit hineinkonstruierter Propellerdüse. Die Grundform (Profil) der Düse ist wiederum in Abb. 3 und das Vorringprofil in Abb. 4 dargestellt. Das mit Nuten versehene System, einschließlich Vorringanordnung, zeigt Abb. 5.

## 3. Meßanlagen

Art und Auswahl der zu messenden Komponenten und Meßgenauigkeitsforderungen bestimmen Ausführung und Qualität der Meßanlagen:

Um hinreichende Aussagen über die Wirkung des neuen Düsensystems zu machen, war es notwendig, folgende Komponenten zu messen:

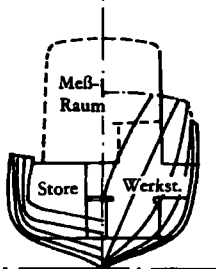
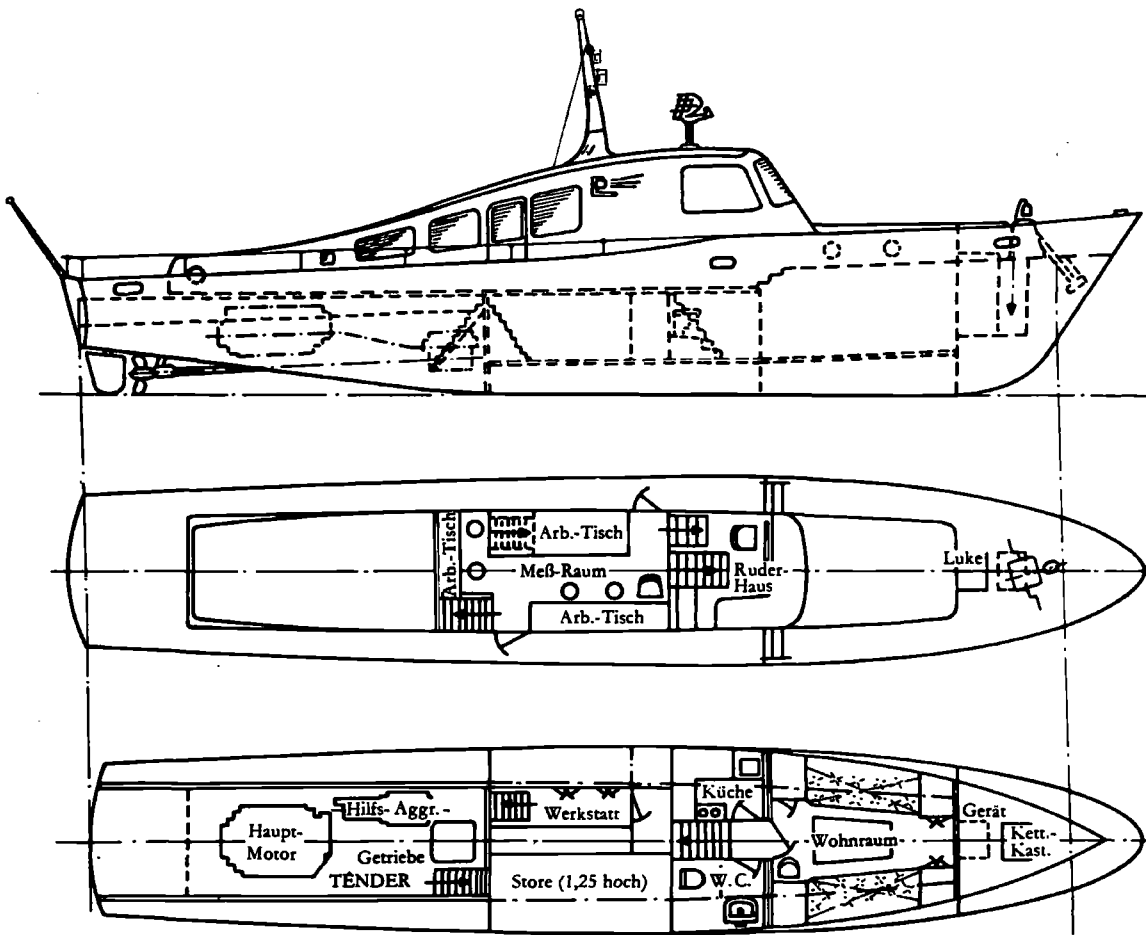
- a) Schiffsgeschwindigkeit
- b) Propellerdrehzahl
- c) Propellerdrehmoment
- d) Propellerschub
- e) Düsen Schub
- f) Zugkraft am Pfahl (bei  $J = 0$ )

Zur Beobachtung der qualitativen Wirkung, insbesondere der fremdkörperabweisenden, mußten darüberhinaus Möglichkeiten zur definierten Fremdkörperzugabe und zur unmittelbaren Fotografie geschaffen werden. Dazu wurden eine Zugabeöffnung sowie eine Stroboskoplampe und ein Fotoprisma in separaten Bodendurchbrüchen wasserdicht installiert.

Zwischen der mit 20 mm  $\emptyset$  Zentralbohrung versehenen Propellerwelle und der getriebeseitigen Gelenkwelle befindet sich eine 1000 mm lange Zwischenwelle. Diese Zwischenwelle trägt das Drucklager, und im verbleibenden freien Teil können Geber für Drehmoment-, Drehzahl- und Schwingungsmessungen sowie mechanische Steuerelemente angeordnet werden 3.

Die Zwischenwelle ist austauschbar, und sie ist eichbar, wozu im praktischen Fall Drehbänke passender Spitzenhöhe gute Dienste leisten.

Zur Messung des Propellerschubs dient ein Pendelrollen-Drucklager. Es wird von einer in Achsmitte geteilten Brille umfaßt. Diese Brille trägt in derselben Ebene auf beiden Seiten gleichzeitig als Montageflansche dienende Seitenplatten, die sich in wiederum axial ausgerichteten Leiterrollenlagern fast reibungslos hin- und herschieben lassen. An den Seitenplatten sind gehärtete Drücknocken befestigt, die den Propellerschub auf je 1 Paar mit Dehnungsmeßstreifen beklebte Biegestäbe wirken lassen. Leiterlager und Biegestäbe sind in zwei Auflageplatten eingebaut und diese wiederum durch zwei Kreisbügel miteinander verbunden. Die Eichung der Biegefelder erfolgt auf einer Drehbank mittels einer vor der Reitstockspindel angesetzten und mit Eichmanometer versehenen hydraulischen Druckdose bei mit Propellerdrehzahl umlaufenden Welle. Indikator ist ein Hottinger Meßverstärker mit Analogausgang.



Schnitt durch die Werkstatt

Maßstab 1:100

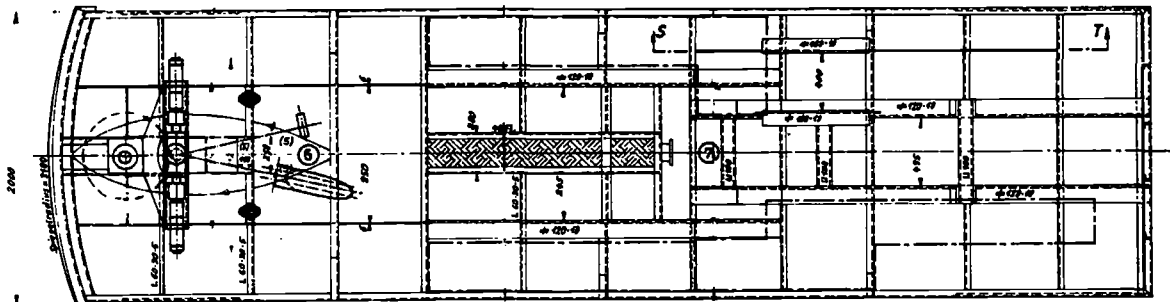
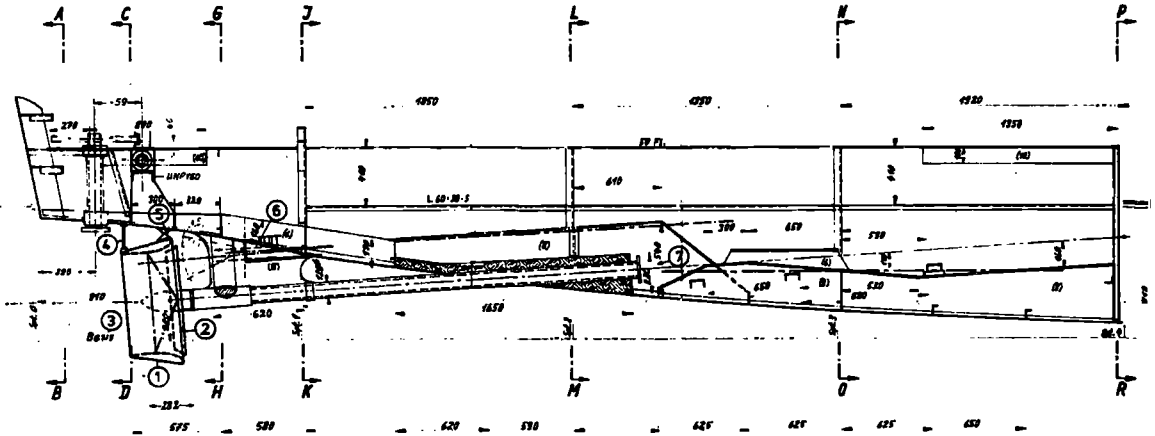
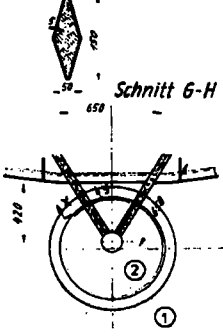
LwL	18,6 m
L ü. A.	20,3 m
B Deck	3,7 m
BewL	3,5 m
H B. D.	1,9 m
H B. D.	2,35 m
Tonn	~ 1,00 m

Generalplan-Skizzen-  
Entwurf  
Forschungsschiff  
VBD

21. 7. 59

Abb. 1

Schnitt X-Y  
M 1:5



Stahlplan Hinterschiff

Schnitt S-T

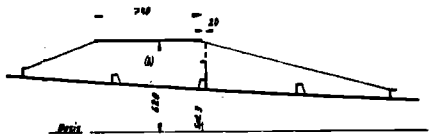


Abb. 2

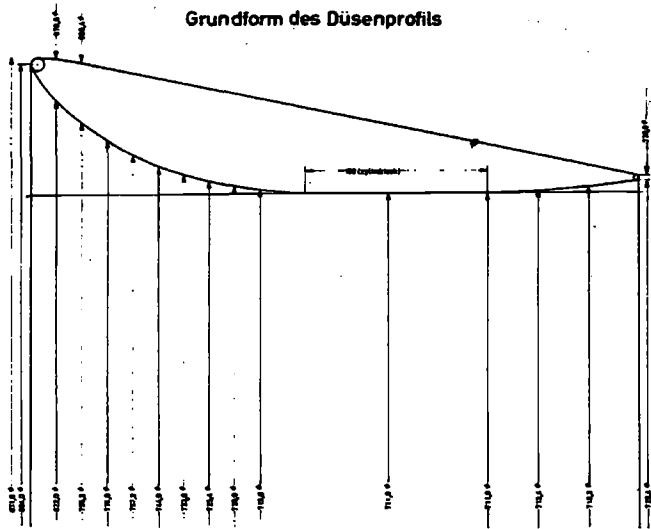


Abb. 3

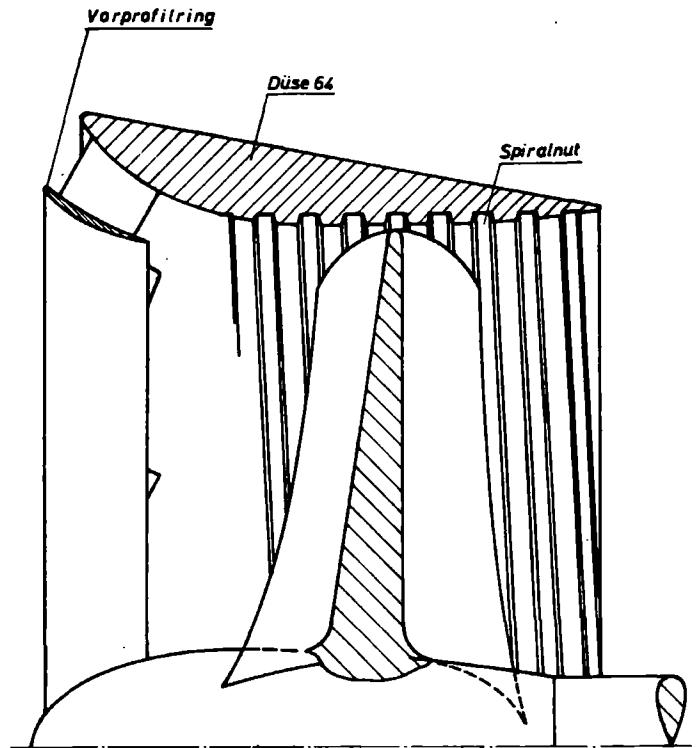


Abb. 6

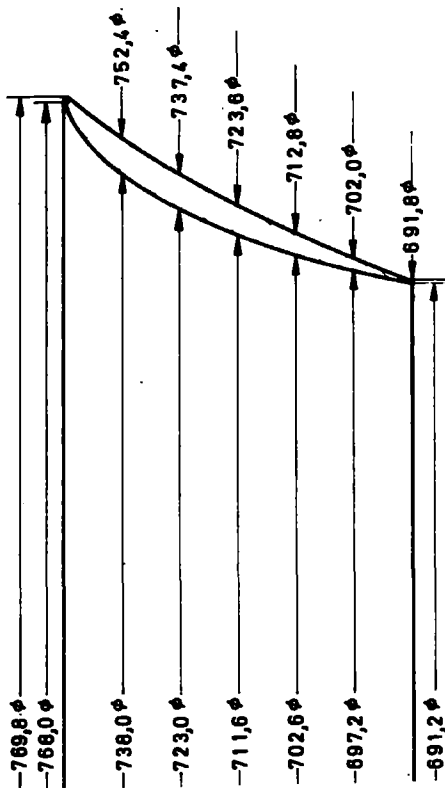


Abb. 4

**VORPROFILRING für Sicherheitsdüse D 64 M1:3**

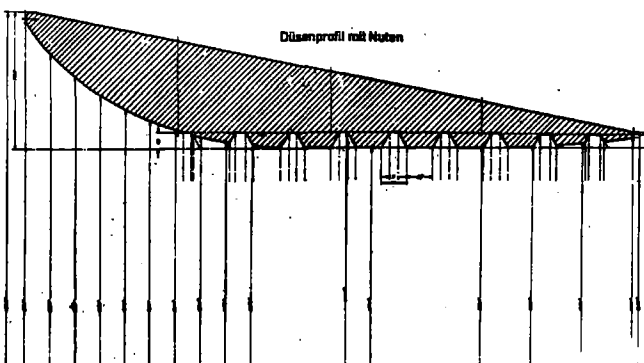


Abb. 5

**Meßwelle**

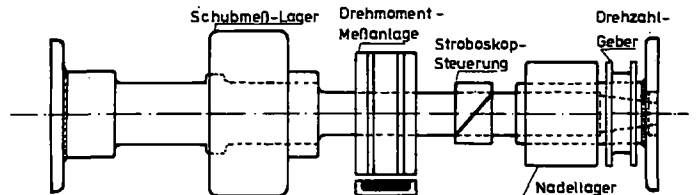


Abb. 7

Zur fortlaufenden Messung der Drehmomente dient das berührungslose Übertragungssystem der Firma Philips, bestehend aus einer Meßstreifen-Vollbrücke (fest und wasserdicht auf die Welle geklebt), mit mitlaufendem Widerstand-Frequenz-Umsetzer, der Stromversorgung sowie den der Vorsorgung und der Signalübertragung zugeordneten Rotorspulen. Seitlich am feststehenden Wellenfundament sind der Transformator und dessen Verkabelung angebracht, die zum Meßwertempfänger führt. Die Eichung erfolgt stationär mittels Hebelarm und Gewichten in entsprechenden Stufungen, wobei die Endflansche zur Einspannung und Hebelbefestigung dienen. Die Zentrierspitze der Drehbank arbeitet reibungsfrei.

Zur Messung der Umdrehungszahl dient ein doppelspuriges und aus Montagegründen in axialer Ebene geteiltes Polrad mit 60 resp. 100 Zähnen. Ein angeschlossener elektrischer Zähler erhält wahlweise über zwei am Stehllager montierte Induktivgeber 60 oder 100 Signale pro Sekunde, so daß bei Beachtung der Komastellen sofort die Drehzahl pro Minute (für den praktischen Betrieb) oder pro Sekunde (für die Meßdaten erfassungsanlage) angezeigt werden kann.

Zur Synchronisation eines Stroboskops wurde analog zur Flügelzahl des Meßpropellers eine dreigängige Schnecke ( $H = 4 D$ ) angesetzt, die ebenfalls wieder mittels in Wellenlängsachse verschiebbarem Induktivgeber elektrische Signale zur ex-

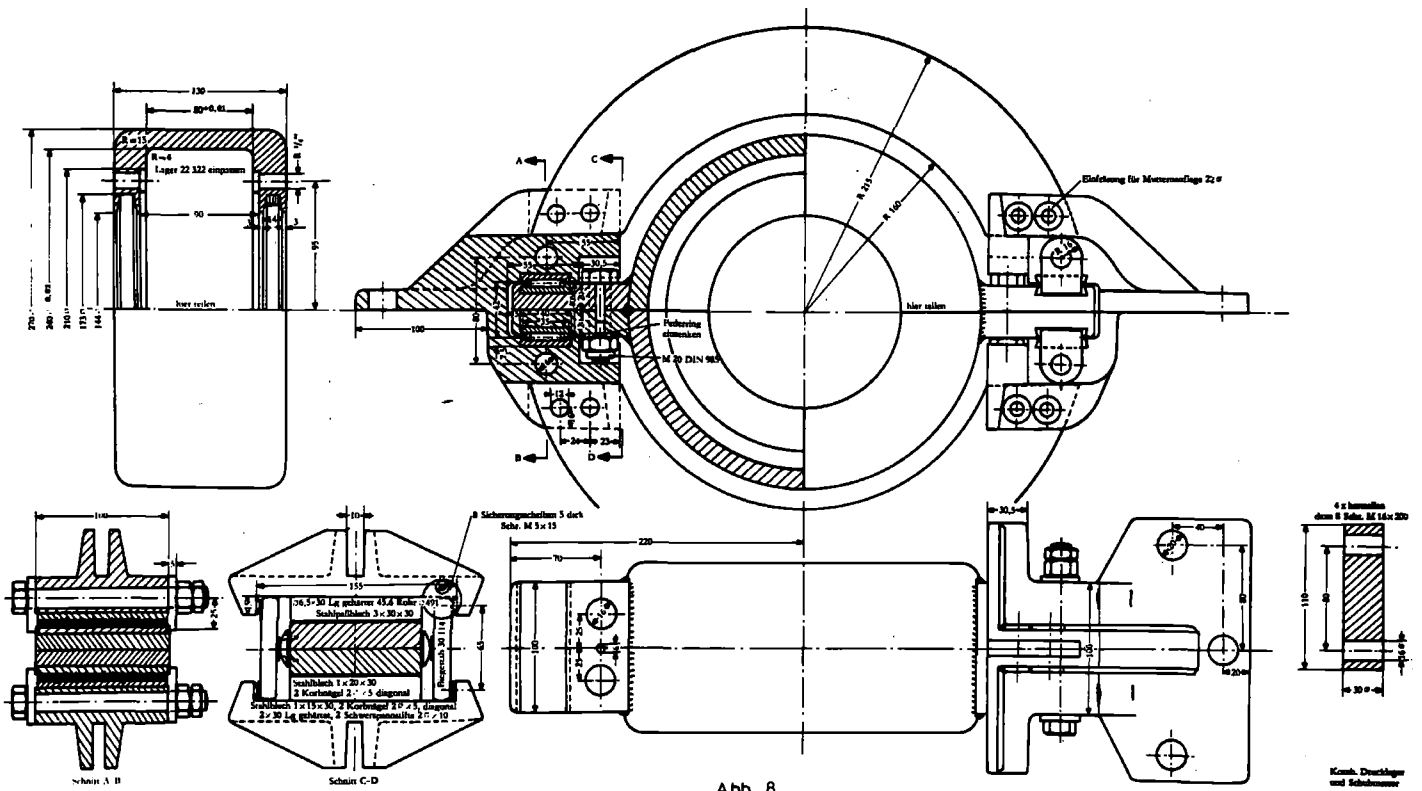


Abb. 8

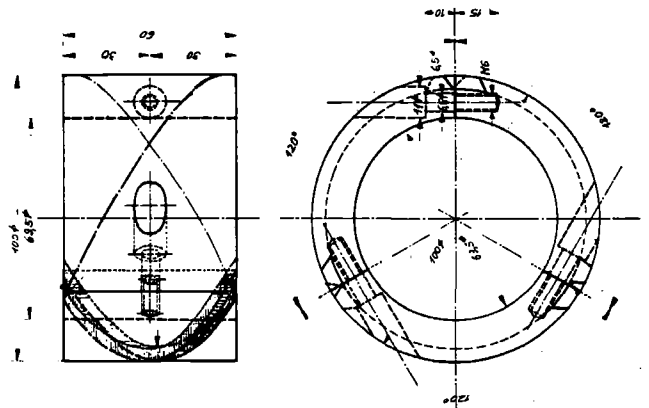
ternen Steuerung des Stroboskop-Blitzes liefert. Dadurch ist es möglich, jede gewünschte Flügelstellung des Propellers, bezogen auf den Schiffskörper, während der Rotation optisch zu fixieren.

Der Beschreibung entsprechend sind in Anlage 2 Positionsnummern und ergänzend dazu Detailzeichnungen beigelegt, die folgende Bedeutung haben:

- Pos. 1: Düsenkörper
  - a) in Normalausführung wie Abb. 3
  - b) mit Nuten versehen wie Abb. 5
- Pos. 2: Düsen-Vorring gemäß Abb. 4
- Pos. 3: Düsen-Propeller in Halbkaplan-Ausführung
- Pos. 4: Düsen-Endhalterung, in Querrichtung steif, in Längsrichtung federnd
- Pos. 5: Meßbock; dient der Düsenschubmessung durch Nutzung der Elastizität der Bodenbeplattung (Dehnungsmeßstreifen aufgeklebt)
- Pos. 6: Fenster und Bodendurchbrüche für Stroboskop, Lampe, Prisma und Fremdkörperzugabe
- Pos. 7: Ort der Meßwelle; diese siehe Abb. 7

Teile der Meßwelle:

- Drucklager-Propeller-Schubmesser, Abb. 8
- Spezial-Nadellager (ohne Hemmung in Propellerschubrichtung)
- Stroboskop-Schnecke, Abb. 9
- In Längsrichtung verschiebbare Induktivgeber-Halterung
- Drehmoment-Eichkurve, Abb. 10



Dreiteilige Schnecke für Stroboskop-Steuerung

Abb. 9

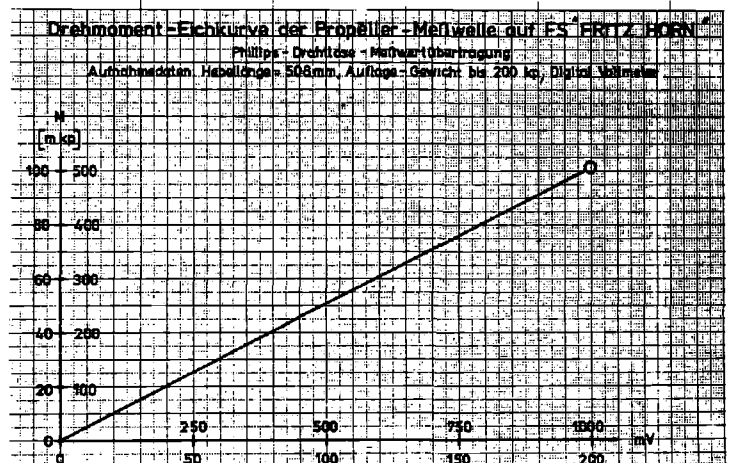


Abb. 10

#### 4. Versuchsdurchführung

Bei den naturgroßen Untersuchungen war es zweckdienlich, ebenso wie bei den Modellversuchen zu verfahren.

##### Prinzipielle Versuchsgliederung:

- Messung des Düsenpropellers, jedoch ohne Düse
- Abbau der glatten Düse und Wiederholung der Messung unter gleichen Voraussetzungen
- Anbau der genötigten Düse ff. wie b)
- Ergänzung durch Vorring ff. wie b)
- Wenn noch möglich wie b), jedoch mit Vorring

Um die Konstanten des Bootes zu überprüfen, wurde vor a) noch ein Propulsionsversuch mit dem Normalpropeller des Bootes eingeschoben; er diente zugleich als Vorversuch zwecks Überprüfung der gesamten Meßanlagen, siehe auch 4.

Die Meßwertaufnahmen bei den reinen Düsenvergleichsfahrten erfolgten nach dem System der sog.

##### Propellerfreifahrt.

Unter Propellerfreifahrt am Forschungsschiff "FRITZ HORN" stehen wir die in eingeschränktem Umfang anwendbare Meßmethode analog zu dem im Modellversuch üblichen Verfahren. Ein solches Verfahren stellt ja die Basis zur experimentellen Ermittlung der Propellerkennzahlen dar.

Um bei konstanter Propellerdrehzahl die Fahrgeschwindigkeit = Fortschrittsgeschwindigkeit stufen zu können, werden Widerstandskörper unterschiedlicher Größen geschleppt.

Da der Eigenwiderstand des Bootes die geringste Bremskraft darstellt, ist die Fahrgeschwindigkeit ohne zusätzliche Schleppkörper die oberste Geschwindigkeitsgrenze für

$$J = \frac{v}{n \cdot D}$$

Das Propeller-Kennlinienfeld kann also niemals voll durchfahren werden (bis  $J = 1,0$ ), doch genügt u. E. der erreichbare Bereich von  $J = 0$  (Pfahlzug) bis  $J = 0,65$ , um das für die Praxis interessierende Verhalten erfassen und vergleichend bewerten zu können, s. auch 5.

Als Versuchsstrecke hat sich das ruhige Oberwasser der Staustufe Ruhrort bestens bewährt. Die Meßstrecke selbst wird durch Deckpeilungen in Längs- und Querrichtung markiert. (Mittlere Wassertiefe: 4,3 m)

#### 5. Versuchsergebnisse

Die wichtigsten quantitativen Versuchsergebnisse sind aus den Diagrammen Abb. 11, Abb. 12, Abb. 13 zu ersehen.

Während in Abb. 11 der Propulsionsvergleich bei Schiffsantrieb

- durch den herkömmlichen Meßpropeller
- durch den düsenlos arbeitenden Kaplan-Propeller

dargestellt ist, zeigen die Abb. 12 und 13 bereits die Vergleichsergebnisse der 3 Düsensysteme:

- 1 = glatte Düse
- 2 = Düse mit Innen-Nuten
- 3 = Düse mit Innen-Nuten und Vorring.

Außer der erwarteten Wirkungsgraderhöhung durch die Düse, zeichnen sich die Unterschiede der 3 Düsensysteme deutlich ab.

Der eindeutig erkennbare Kraftverlust der genötigten Düse wird durch den Vorring ausgeglichen, so daß die Vorringdüse mit der herkömmlich glatten Düse etwa gleichzusetzen wäre.

Von besonderer Bedeutung ist allerdings die angestrebte, fremdkörperabweisende Wirkung.

Die vorn beschriebenen Meß- und Versuchsanlagen erlaubten die Eingabe von Fremdkörpern sowie die Registrierung über ihr Richtungsverhalten vor und innerhalb des Propeller-Düsen systems. Da die Trübung des Wassers leider keine (analog zum Modellversuch im Schlepptank) Video-Aufzeichnung zuließ, wurden anhand intensiver Beobachtungen das Durchtrittsverhalten der Fremdkörper zeichnerisch rekonstruiert. Die Abb. 14 - 16 zeigen zusammenfassend das jeweilige Beobachtungsergebnis in Seitenansicht.

Wie man erkennt, erfolgte die Zufuhr über das vorn beschriebene Rohrleitungssystem so, daß zugleich auch eine Stufung der Zugabtiefe erreicht werden konnte. Bezogen auf den Propellerradius  $R$  lagen diese Werte bei 100 %, 75 %, 50 % und 25 %.

Die Normaldüse in Abb. 14 zeigt keine abweisende Wirkung. Sie nimmt alle Fremdkörper zwischen 75 und 100 % auf und leitet sie zwischen Innenkontur und den Propellerflügelspitzen hindurch. Der Verschleiß an beiden Positionen ist relativ groß.

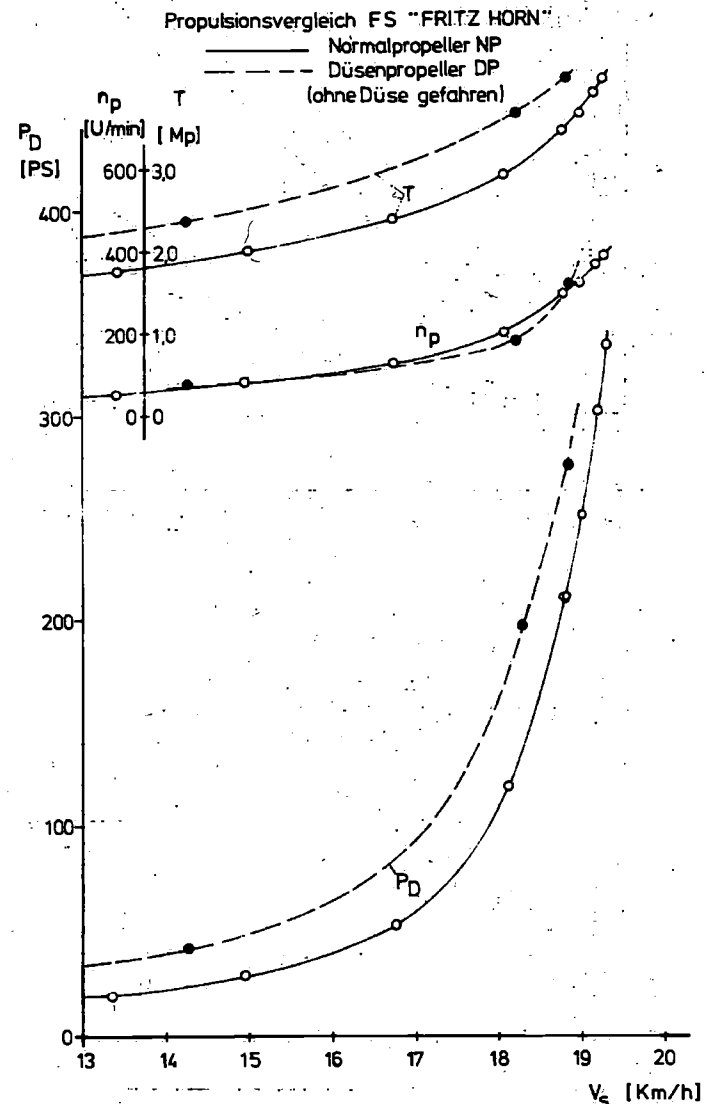


Abb. 11

Die genutete Düse in Abb. 15 zeigt die vom Modell her schon bekannte abweisende Wirkung. Die Düsen-Innenseite wird nicht mehr tangiert, nur die äußeren Propellerflügel werden beaufschlagt.

In Abb. 16 ist nun die zusätzliche abweisende Wirkung des Düsen-Vorrings zu erkennen. Die Fremdkörper konzentrieren sich auf die inneren 60 % des Durchtrittsquerschnitts. Die Flügelspitzenbereiche bleiben unberührt.

Alle drei Verhaltensweisen blieben auch bei extremer Steigerung der Antriebsleistung bis zu 320 PS gleich, obwohl der Propeller bei dieser Belastung bereits hoch im Kavitationsbereich arbeitete.

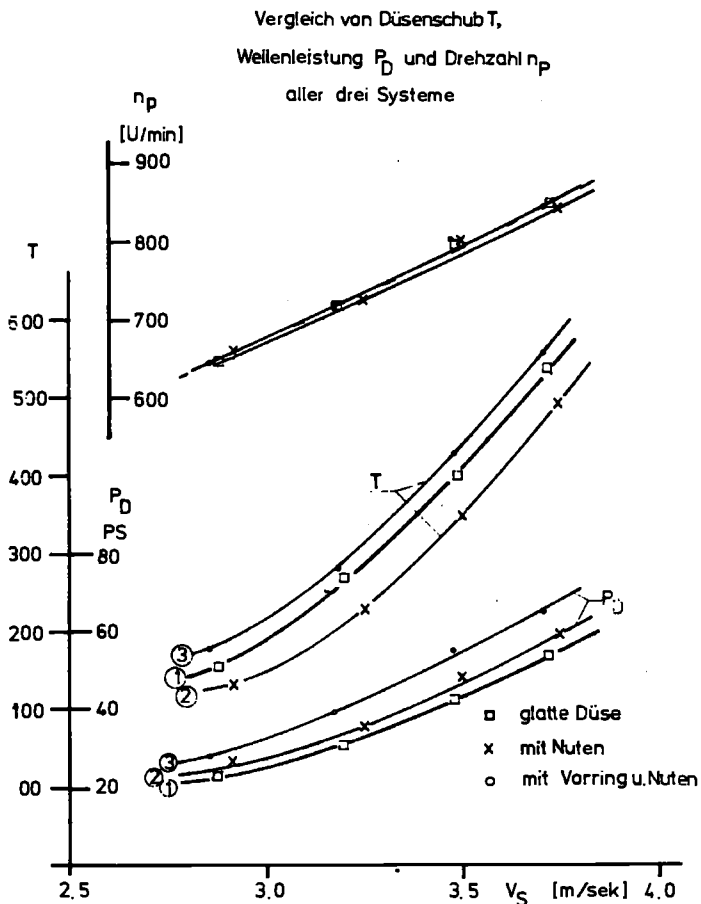


Abb. 12

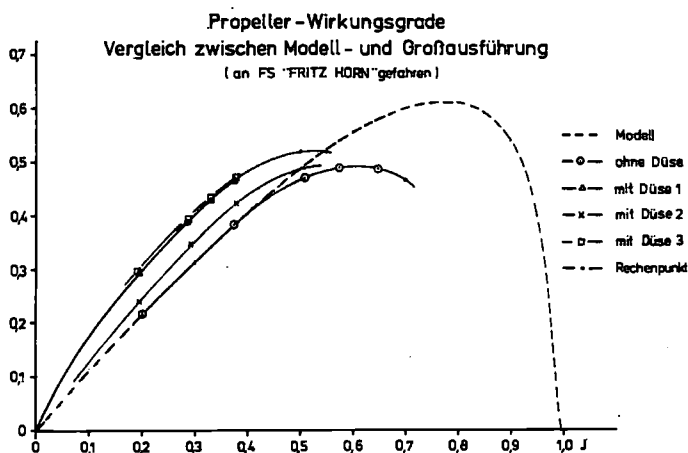


Abb. 13

## 5. Zusammenfassung

In Ergänzung zu Modellversuchen im Schlepptank der VBD wurde mit dem Forschungsschiff "FRITZ HORN" ein analoges Versuchsprogramm vorbereitet und erfolgreich durchgeführt, das in Naturgröße den Beweis erbringen sollte, wie es durch geringe, äußere Veränderungen an Propellerdüsen zur Verschleißminderung kommen kann und sogar Schäden am Propeller und der Düseninnenwand auf ein erträgliches Maß reduziert werden können.

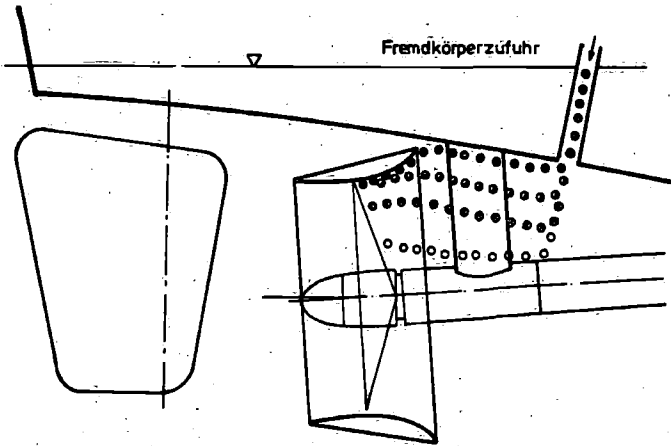
Die experimentelle Prüfung des Leistungs- und Funktionsverhaltens bestätigte die Resultate des Modellversuchs. Darüberhinaus ist für die Praxis wichtig zu wissen, daß die Düsenveränderungen oder Ergänzungen die Wirksamkeit des Systems Düse - Propeller nicht verschlechtern. Einschränkend muß jedoch besonders hervorgehoben werden, daß Fremdkörper nur dann konzentrisch zur Düsenmitte hin abgewiesen werden, wenn sie im Wasser schwimmen oder schweben und ihre Gestalt einen nennenswerten Strömungswiderstand besitzt. Stählerne Trossenschlaufen beispielsweise, deren Unterseite in der Flußsohle eingebettet sind, werden nicht abgewiesen.

## Literaturangaben

- Schmidt-Stiebitz Luthra "Untersuchung selbstabweisender Propellerdüsen" 111. Mitteilung der VBD Schiff und Hafen, Heft 9/1970
- Sturtzel Schüle Dittberner "Forschungsschiff FRITZ HORN", das schwimmende Laboratorium für schiffstechnische Großversuche" 54. Mitteilung der VBD Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1244
- Schüle Schydlow "Vergleichende Untersuchungen zwischen einem Metall- und einem Kunststoffpropeller" 106. Mitteilung der VBD Zeitschrift für Binnenschifffahrt, Heft 11/1968
- Schüle "Gegenüberstellung von Propulsions- und Manövrierversuchen in Modell- und Großausführung mit FRITZ HORN" 102. Mitteilung der VBD Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1985
- Sturtzel Helm Schüle "versuche mit ummantelten Schraubenpropellern zur Ermittlung der Maßstabkennzahl" 27. Mitteilung der VBD Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 815
- Schneekluth Luthra "Weiterentwicklung von Düsenystemen für Flachwasserschiffe" Zeitschrift für Binnenschifffahrt Heft 3/1977
- Luthra "Untersuchung der Maßnahmen zur Verbesserung der Betriebssicherheit bei Düsenpropellern" Schiff und Hafen, Heft 6/1977 175. Mitteilung der VBD

Darstellung der Fremdkörper abweisenden Düsenwirkung

Normal-Düse



Sicherheitsdüse:

$D_b = 876$   $D_i = 707$   
 $L_D = 364$   $L_D/D_b = 0,42$

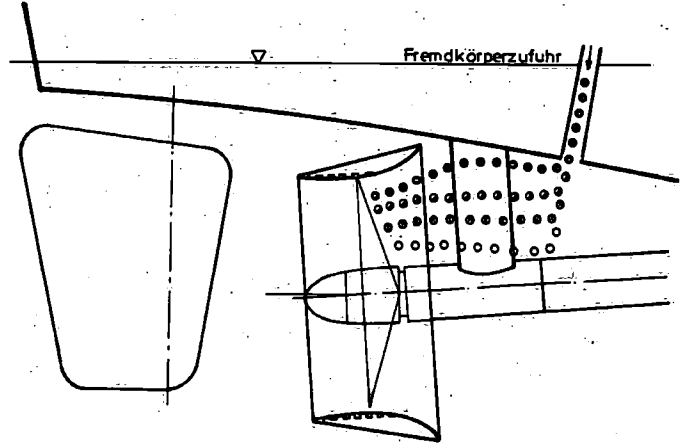
Propeller:

$D_p = 700$   $H = 700$   
 $H/D = 1,0$   $F_0/F = 0,62$   
 $Z = 3$   $P_D$  ca 140PS

Abb. 14

Darstellung der Fremdkörper abweisenden Düsenwirkung

Düse mit Nuten



Sicherheitsdüse:

$D_b = 876$   $D_i = 707$   
 $L_D = 364$   $L_D/D_b = 0,42$

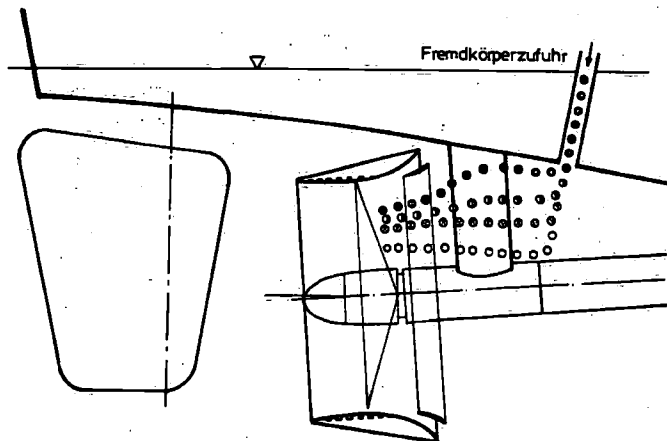
Propeller:

$D_p = 700$   $H = 700$   
 $H/D = 1,0$   $F_0/F = 0,62$   
 $Z = 3$   $P_D$  ca 140PS

Abb. 15

Darstellung der Fremdkörper abweisenden Düsenwirkung

Düse mit Nuten und Vorring



Sicherheitsdüse:

$D_b = 876$   $D_i = 707$   
 $L_D = 364$   $L_D/D_b = 0,42$

Propeller:

$D_p = 700$   $H = 700$   
 $H/D = 1,0$   $F_0/F = 0,62$   
 $Z = 3$   $P_D$  ca 140PS

Abb. 16



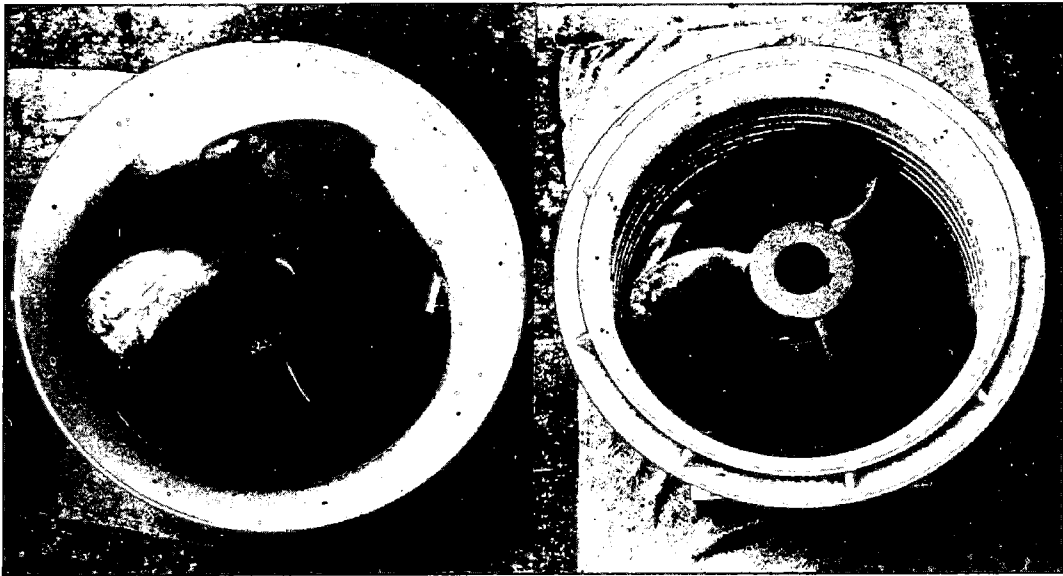


Bild 1: Glatte Normaldüse und genutete Düse  
bereits schon mit Vorringprofil versehen

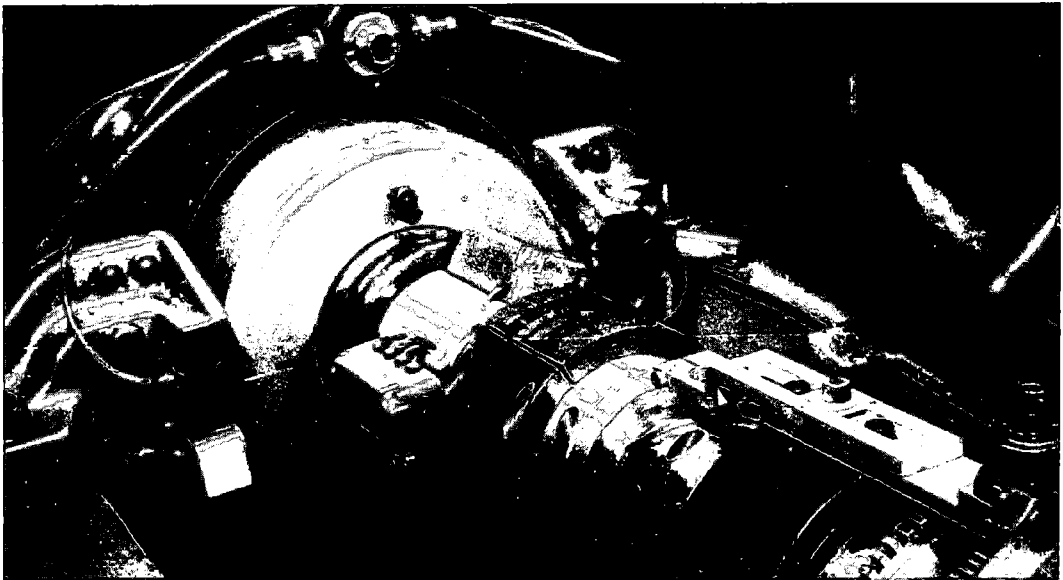


Bild 2: Propellermeßwelle für Schub-, Drehmoment-  
Stroboskopsteuerung und Drehzahlmeßgliedern

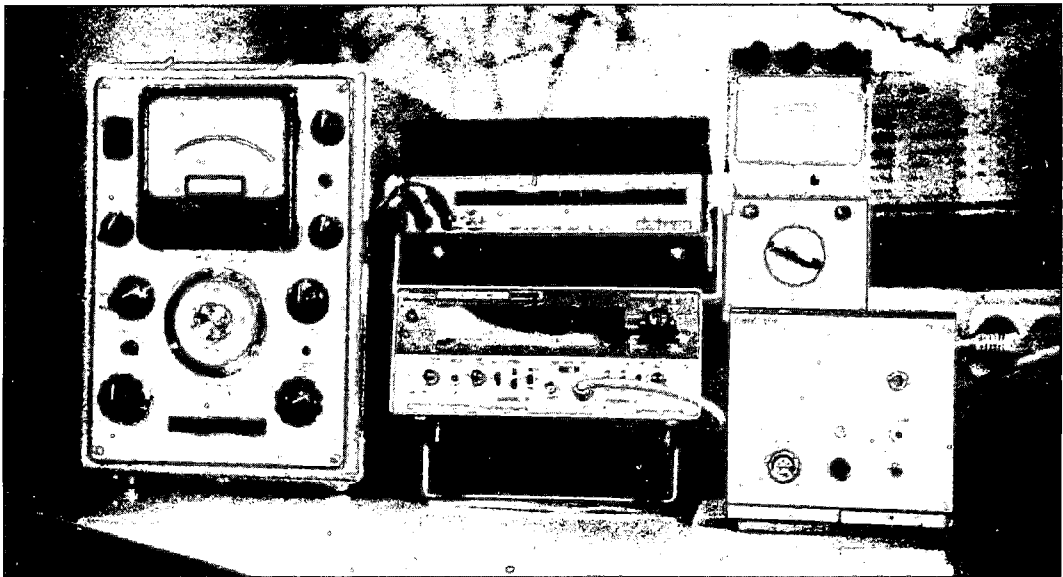


Bild 3: Meßplatz im Meßraum des FS "FRITZ HORN"

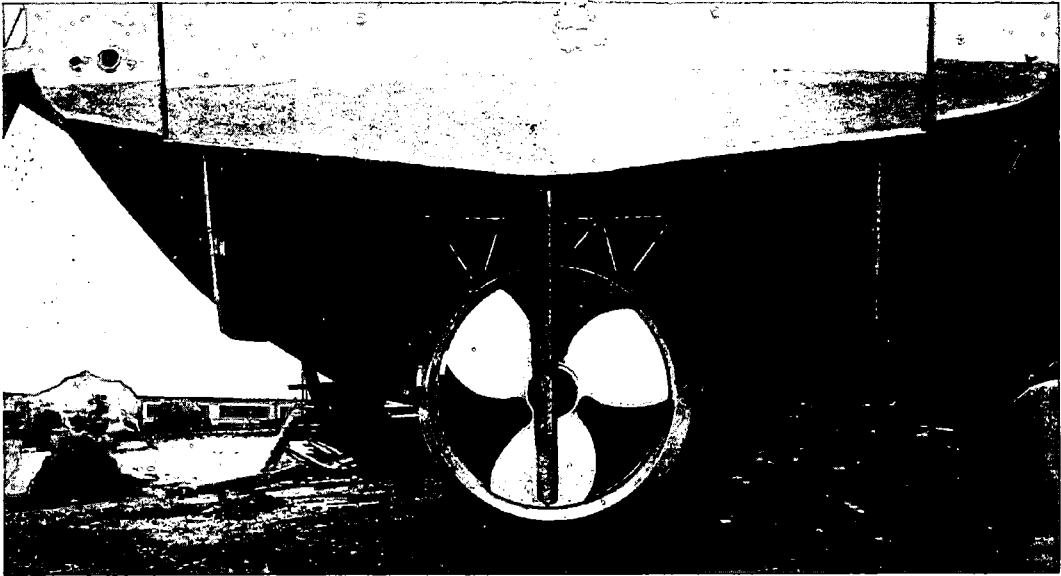


Bild 4: Sicherheitsdüse ohne Vorring; man beachte das Tragwerk

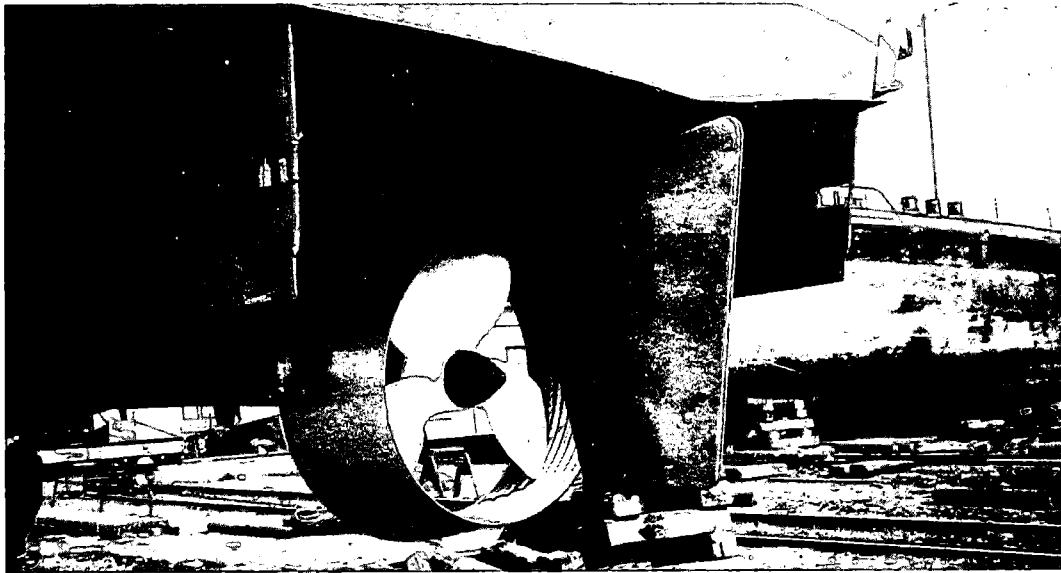


Bild 5: Die Düse wird seitlich von Pendelstäben getragen....

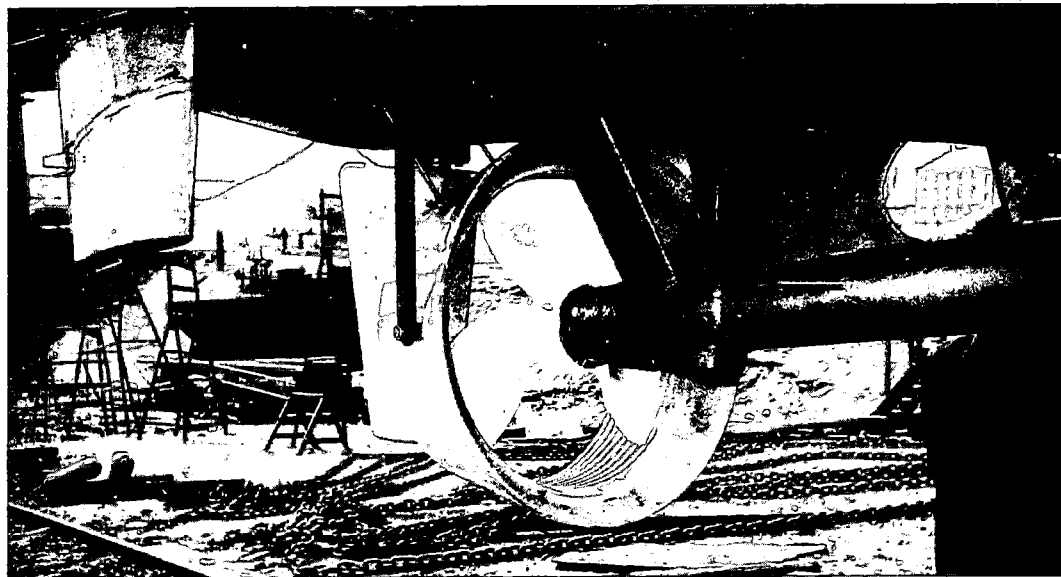


Bild 6: .... und ist so axial verschiebbar....

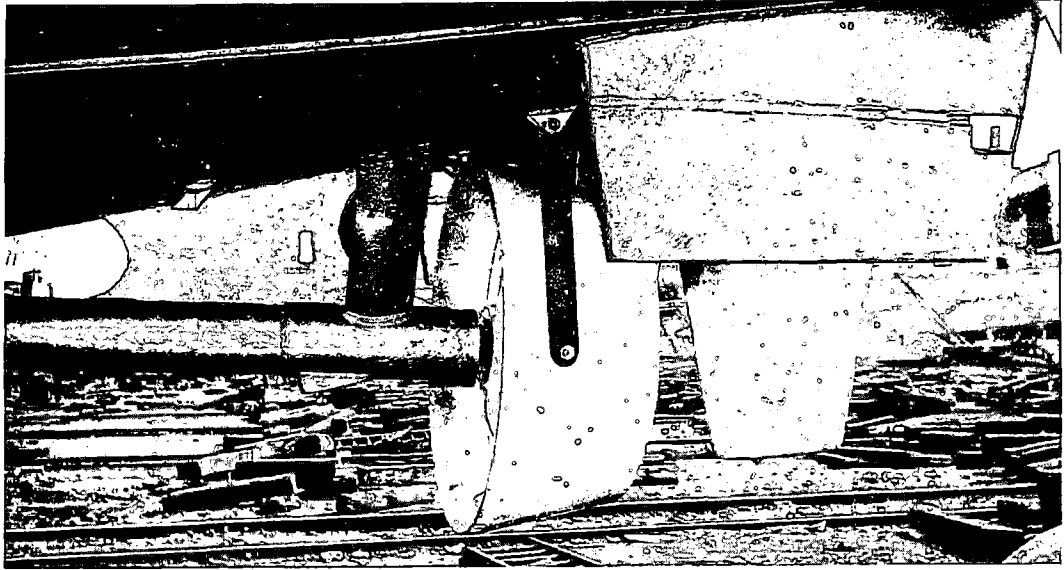


Bild 7: .... damit stirnseitig, oben der Düsens Schub....

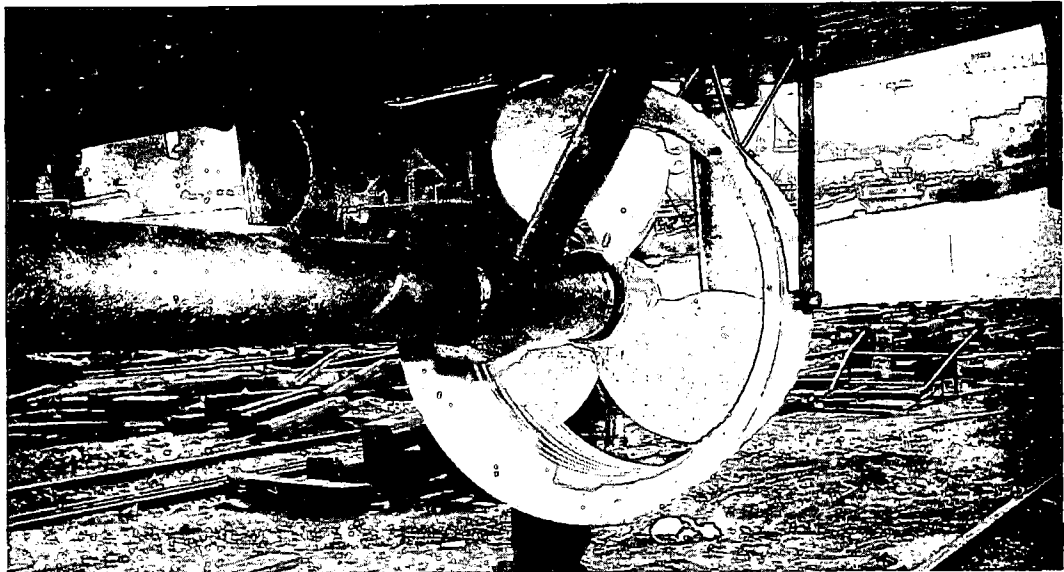


Bild 8: ....mittels Druckbolzen auf den Schiffsboden wirkt....

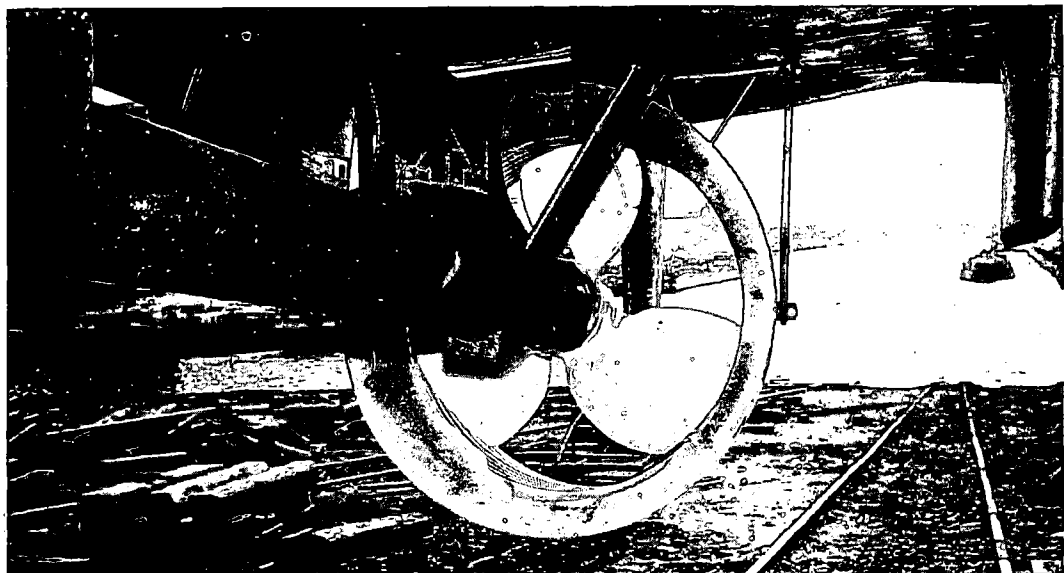


Bild 9: .....und dessen Durchbiegung analog meßbar ist.

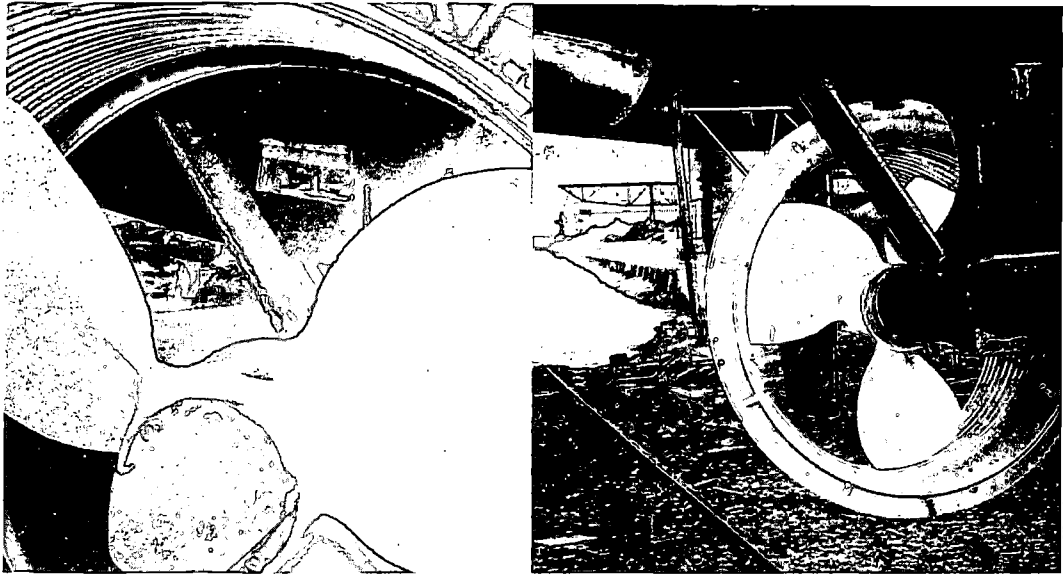


Bild 10: Ein Prisma im Boden in Verbindung mit....

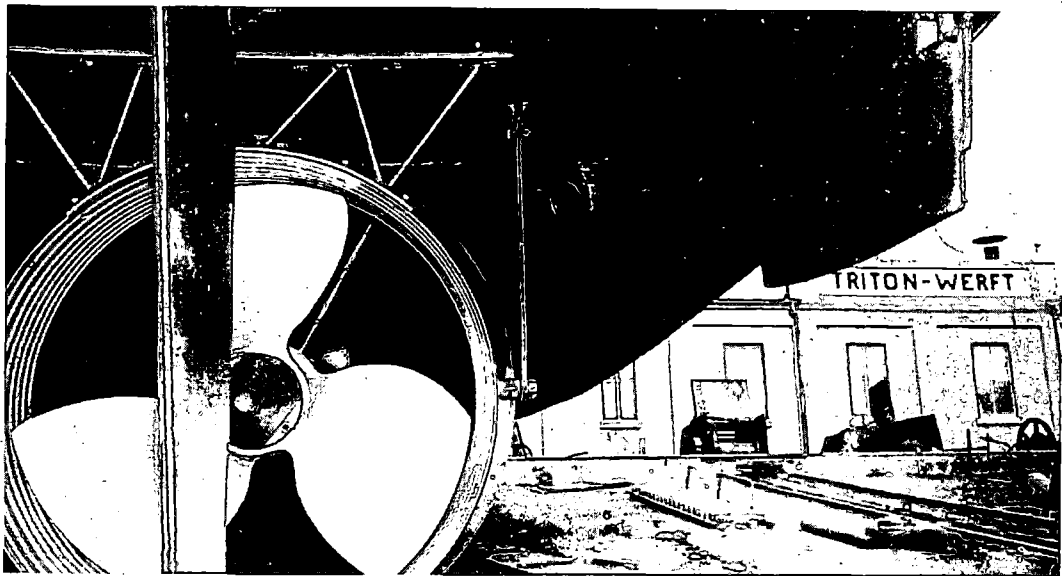


Bild 11: ....einer Stroboskoplampe erlaubt die Beobachtung....

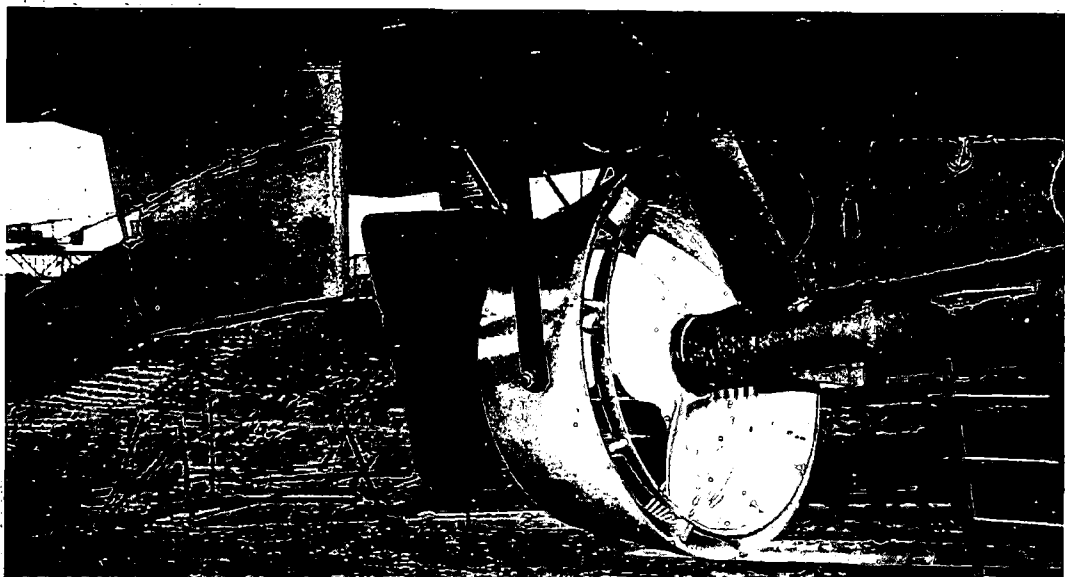


Bild 12: ...der hier schon mit Vorring versehenen Sicherheitsdüse.



Bild 13: Seitenansicht von Prisma und Vorring

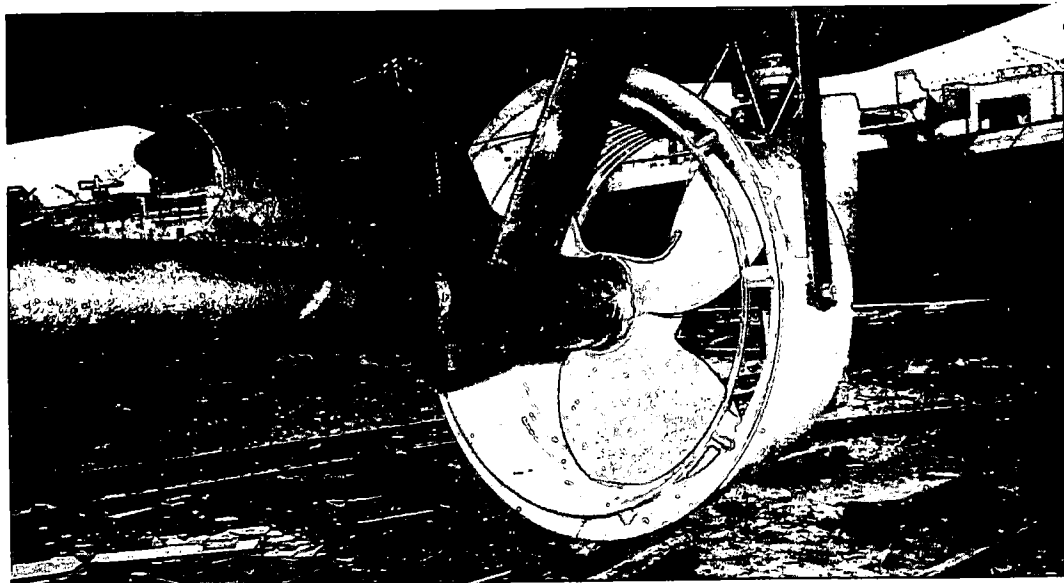


Bild 14: Die Gesamtanordnung perspektivisch

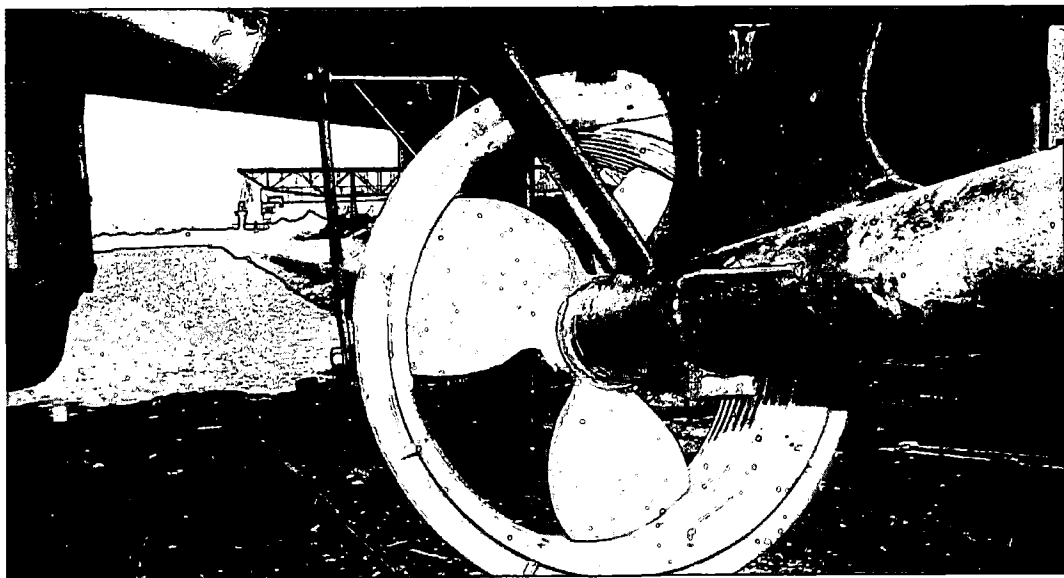


Bild 15: Düsenschub-Eichvorrichtung (Draht über Rolle)