

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Heise, Günter; Schneider, Max

Widerstandsmessungen an Schubprahm-Modellen

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Schifffahrt

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105781>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Heise, Günter; Schneider, Max (1961): Widerstandsmessungen an Schubprahm-Modellen. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Schifffahrt 1. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 15-46.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Widerstandsmessungen an Schubprahm-Modellen

Dipl.-Ing. Günter Heise und Schiffb.-Ing. Max Schneider

Abbildungen siehe am Schluß des Vortragstextes

1. Einleitung

Die Schubschiffahrt - also die Methode, Verbände von Lastschiffen ohne eigenen Antrieb durch geeignete Antriebsfahrzeuge zu schieben statt zu ziehen - ist seit langer Zeit bekannt. Sie ist in den letzten 30 Jahren in den USA zu höchster Perfektion entwickelt worden. In Europa begann man sich ernsthaft erst nach dem 2. Weltkrieg mit dieser Transportmethode zu befassen, als analog zu anderen Wirtschaftszweigen auch die Binnenschiffahrt genötigt war, nach neuen Wegen zur Betriebsrationalisierung zu suchen. Als erster Staat hat die Sowjet-Union im Jahre 1952 begonnen, die Schubschiffahrt auf ihrem weit verzweigten und gut ausgebauten Wasserstraßennetz in großem Umfange einzuführen. Heute werden dort bereits 40%, in einzelnen Gebieten bis zu 70% aller von der Binnenschiffahrt zu befördernden Güter durch Schubeinheiten transportiert. Auch in Westeuropa, insbesondere auf der Seine und auf dem Rhein sind erste Schritte zur breiteren Einführung dieser Betriebsart unternommen worden.

Die Vorteile der Schubschiffahrt gegenüber der konventionellen Schleppschiffahrt werden im wesentlichen in folgenden Kriterien gesehen:

- a) Im Gegensatz zu Schleppkähnen können Schubprähme unbemannt bleiben, da sie starr vor das Antriebsfahrzeug, das Schubboot, gekoppelt werden. Der gesamte Verband ist also einem alleinfahrenden Schiff gleichzusetzen. Hierdurch ergibt sich im Vergleich zum Schleppzug eine Personaleinsparung, die bei genügend großem Schubverband recht erheblich sein kann.
- b) Infolge der einfachen Bauart der Schubprähme und des Fortfalls von Wohneinrichtungen, Ruderanlagen und dergl. sind die Bau- und Unterhaltungskosten wesentlich geringer als bei Schleppkähnen gleicher Tragfähigkeit.
- c) Durch Wahl geeigneter Hauptabmessungen (kleines L/B!), durch den großen Völligkeitsgrad σ und durch Gewichtseinsparungen, die sich aus dem relativ geringen Materialaufwand infolge der einfachen Bauart ergeben, kann eine große Tragfähigkeit der Schubprähme erreicht werden.

- d) Der Gesamtwiderstand eines größeren, nur aus voreinandergekoppelten Einheiten bestehenden Schubverbandes verspricht bei guter Formgebung der Schubprähme geringer zu werden als der eines Schleppzuges gleicher Ladefähigkeit, da in fahrdynamischer Hinsicht die Vorzüge eines Selbstfahrers wirksam werden und die Nachteile eines Schleppzuges entfallen.

Lange Zeit wurde allgemein die Auffassung vertreten, daß die Schiffschiffahrt nur auf großen Strömen und freien Gewässern, nicht jedoch auf den engen Wasserstraßen unserer Heimat mit Erfolg durchführbar wäre. Versuchsfahrten mit improvisierten Schubverbänden haben inzwischen diese Auffassung zumindest für Schubverbände widerlegt, deren größte Breite die Regelschiffsbreite der jeweiligen Wasserstraße nicht überschreitet und deren größte Länge in einem angemessenen Verhältnis zu den Krümmungsradien der Wasserstraße und zu den Kammerlängen der zu passierenden Schleusen steht. So wurde z.B. 1958 ein Verband, der aus einem Breslauer-Maß-Selbstfahrer mit 2 Z-Antrieben ($N = 2 \times 90$ PS) und einem starr davorgekoppelten Breslauer-Maßkahn bestand und der eine Gesamtlänge von 114 m hatte, bei voller Abladung ohne jegliche Behinderung des übrigen Verkehrs mit 6,5 km/h Geschwindigkeit durch den Ihle-Plauer-Kanal, die Havel und die Spree sicher von Genthin nach Berlin gefahren. Auch aus Westdeutschland wurde kürzlich von erfolgreich verlaufenen Versuchsfahrten mit einem ähnlichen Verband berichtet.

Parallel zu diesen interimistischen Erprobungen durchgeführte ökonomische Überlegungen ergaben, daß die vorgenannten Vorteile des Schubbetriebs z.T. auch bei relativ kleinen Abmessungen der Schubverbände noch gewichtig genug sind, um diese Betriebsart im Zusammenhang mit der vorgesehenen Rekonstruktion der Binnenflotte zum Gegenstand eingehender Untersuchungen zu machen. Während die Personal- und Baukosteneinsparung eindeutig zur Senkung der Selbstkosten führen, vermag eine gute Formgebung der Schubverbände im Hinblick auf die fahrdynamischen Eigenschaften ebenfalls einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zur Rentabilität des Betriebes zu leisten. Es kommt darauf an, ein Optimum an Transportleistungskapazität durch einen günstigen Kompromiß zwischen der Forderung nach maximaler Ladefähigkeit und der Forderung nach einem möglichst geringen spezifischen Fahrtwiderstand und entsprechend geringem Leistungs- und Treibstoffbedarf je trans-

portierter t Ladung bei angemessener Geschwindigkeit zu erreichen. Welche Form der Schubprähme bzw. der Schubverbände entspricht nun diesen Forderungen am besten?

Es ist allgemein üblich, Fragen dieser Art vor Baubeginn durch Modellversuche zu klären, die gestatten, mit relativ geringem Aufwand die für den jeweiligen Zweck günstigste Schiffsform bzw. bei Fahrzeugverbänden die günstigste Formation zu ermitteln. In der einschlägigen Fachliteratur sind daher auch Veröffentlichungen zu finden, in denen über Widerstandsmessungen an Schubprahm-Modellen (einzeln und im Verband) berichtet wird. Diese Untersuchungen haben - soweit sie uns bekannt geworden sind - eines gemeinsam: sie erfolgten für Wasserstraßenverhältnisse, die für unsere Binnenflotte nur von begrenztem Interesse sind, d.h. es handelt sich durchweg um Versuche in flachem, aber seitlich nicht beschränktem Fahrwasser mit Modellen von Fahrzeugen, deren Größe - insbesondere deren Breite - für unsere Wasserstraßen nicht infrage kommt. Es darf daran erinnert werden, daß das Wasserstraßennetz zwischen Elbe und Oder im wesentlichen aus Kanälen oder kanalisierten Flüssen gebildet wird.

Andererseits aber erfordern gerade die widerstandsmäßig sehr ungünstigen Bedingungen der Kanalfahrt besondere Sorgfalt bei der Formgebung der Fahrzeuge. Aus diesem Grunde wurden im Rahmen eines umfangreichen Versuchsprogramms, das auch Propulsions- und Manövrierversuche umfaßt, unter Benutzung eines auf dem wasserbaulichen Versuchsgelände der Forschungsanstalt in Potsdam-Marquardt vorhandenen Kanalmodells eigene systematische Widerstandsmessungen an einer Reihe von Schubprahm-Modellen unterschiedlicher Form vorgenommen. Modellmaßstab war hierbei in allen Fällen $\alpha = 12,5$.

2. Versuchsbedingungen

2.1 Wahl der Schubprahm-Abmessungen

Nach eingehenden Beratungen mit Fachexperten der Betriebspraxis und Schifffahrtsverwaltung wurden entsprechend den Gegebenheiten der Hauptwasserstraßen der DDR die für die Modell-

untersuchungen interessierenden Hauptabmessungen der Schubprähme wie folgt festgelegt: $L = 30,0$ m; $B = 8,2$ m; $Tg = 1,75$ m.

Bild 1 läßt erkennen, daß mit $B = 8,2$ m alle wichtigen Wasserstraßen befahren werden können. Das gleiche gilt für den Tiefgang. Ergänzend zu der Karte sei noch erwähnt, daß auch die Saale bis Halle/Trotha für Fahrzeuge und Fahrzeugverbände mit $8,2$ m Breite und $1,75$ m Tiefgang befahrbar ist. Für die Längenfestlegung waren mit Vorrang zwei Forderungen maßgebend:

- a) Die Länge des Einzelprahms sollte unter Berücksichtigung der Schleusenammerlängen und kleinsten Krümmungsradien der infrage kommenden Wasserstraßen gute Kombinationsmöglichkeiten für die Längenvariation des Schubverbandes ergeben; sie durfte also nicht zu groß sein.
- b) Die Länge des Einzelprahms sollte ferner in einem Verhältnis zur Breite stehen, das zwecks Erzielung einer guten Tragfähigkeit ein relativ geringes Rumpfstahlgewicht (nach den Bauvorschriften für stählerne Binnenschiffe) erbringt. Bild 2 zeigt einen diesbezüglichen Vergleich zwischen einem Großplauer-Maßkahn und einem Schubprahm bzw. zwei Schubprähmen.

Ferner wurde festgelegt, daß jeweils 2 Schubprähme als Tandem gekoppelt die Standardformation, d.h. den kleinsten Lastverband für den praktischen Transportbetrieb, bilden sollten. Diese Standardformation, die größenordnungsmäßig nur etwa einem Selbstfahrer entspricht, kann dann durch Vorkoppeln weiterer Prähme je nach den transporttechnischen Gegebenheiten vergrößert werden.

2.2 Formgebung der Schubprahm-Modelle

Da der kleinste Verband aus 2 Schubprähmen gebildet werden soll, ist jeder Prahm - bis auf die Form A - asymmetrisch ausgelegt, und erst die Kopplung mit einem zweiten ergibt die Symmetrie der Wasserlinien und Längsschnitte (Bild 3). Form A dient als Komplettierungssektion bei der Bildung von sogen. "integrated"-Verbänden, gleichzeitig aber auch als Ausgangs-

basis zum Vergleich mit den anderen Formen. Zu diesem Zweck ist auch der Fahrwiderstand dieser Form einzeln und im Verband gemessen worden.

Die Schubprähme haben bei 1,75 m Tiefgang folgendes Deplacement:

Form A	=	428 m ³
Form B	=	405 m ³
Form C	=	408 m ³
Form D	=	406 m ³

Mit Ausnahme der Form C haben alle Prähme eine runde Kimm ($r = 0,25$ m); Form C hat eine eckige Kimm.

Bild 4 zeigt die Linien und die Hauptabmessungen des mit Doppelschraubenantrieb und schwenkbaren Ruderdüsen ausgerüsteten Schubbootmodells S 1, das zu einem Teil der Versuche verwendet wurde. Bei den Widerstandsmessungen wurde das Schubboot stets ohne Propeller geschleppt. In Bild 5 ist das Modell von unten gesehen wiedergegeben. Man erkennt deutlich die Motorengondel und die maximal ausgeschwenkten Ruderdüsen mit angelegtem Flächenruder.

2.3 Kriterien der Versuchsanlage

Die Widerstandsmessungen wurden in einem Modellkanal mit zementierten Wandungen und dem in Bild 6 gezeigten Querschnitt durchgeführt. Seine Gesamtlänge betrug 140 m, wovon 20 m als Meßstrecke, 100 m als Vorlaufstrecke zur Erzielung einer konstanten Geschwindigkeit der Versuchsmodelle und die restlichen 20 m als Auslauf- und Bremsstrecke dienten.

Die Bewegung der Modelle erfolgte mittels einer Schwerkraftanlage in Anlehnung an die Wellenkampmethode. Sie ist in Bild 7 schematisch dargestellt. An einem Mast befindet sich ein Flaschenzug mit sechsfacher Gewichtsuntersetzung, an dem Kilopond-Gewichte in jeder gewünschten Zahl bis zu einer Höchstbelastung von 10 kp aufhängbar sind. Über den Flaschenzug läuft ein Draht, der über eine Umlenkrolle mit den Versuchsmodellen verbunden ist. Die Schwerkraft der Gewichte bewirkt den Vor-

trieb der Modelle. Ein über die Längsachse des Kanals straff gespannter Leitdraht verhindert in Verbindung mit Führungsgabeln, die auf den Versuchsmodellen vorn und hinten montiert sind, Gierbewegungen während der Fahrt.

Entgegen den in Schleppversuchsanstalten allgemein üblichen Schleppanlagen, bei denen die für eine bestimmte Geschwindigkeit erforderliche Schleppkraft gemessen wird, wird hier also die Schleppkraft vorgegeben und die damit erzielte Geschwindigkeit ermittelt. Die Schleppkraft selbst beträgt $1/6$ des an den Flaschenzug gehängten Kilopond-Gewichtes abzüglich Reibungsverluste. Um die für die verschiedenen Belastungen schwierig zu bestimmenden Reibungsverluste und die dadurch hervorgerufene eventuelle Ungenauigkeit auszuschalten, wird die tatsächlich wirksam werdende Schleppkraft an einem Zugkraftmesser abgelesen, der auf dem ersten Schiffsmodell montiert ist und an dem der Schleppdraht angreift.

Diese in allen ihren Teilen so unkompliziert wie möglich gehaltene Modellschleppanlage kann und will natürlich nicht mit den ausgefeilten Einrichtungen moderner Schleppversuchsanstalten konkurrieren. Es kann jedoch gesagt werden, daß die äußerst geringfügig streuenden Meßergebnisse für den vorgesehenen Zweck - Vergleiche zwischen verschiedenen Schubprahmodellen und Modellanordnungen zu ermöglichen - durchaus befriedigen. Andererseits machte sich der Umstand für den terminlichen Ablauf der Arbeiten sehr unangenehm bemerkbar, daß die Versuche im Freigelände durchgeführt werden mußten und ihr Fortgang sehr witterungsabhängig war (Meßfahrten wurden nur bei Windgeschwindigkeiten bis maximal $0,5$ m/s ausgewertet). Es ist deshalb zu wünschen, daß die Schiffbauversuchsanstalt des Instituts für Schiffbau recht bald eine Flachwasserrinne mit Einbaumöglichkeiten für Kanalprofile erhält, damit künftig auch hydrodynamische Untersuchungen für die Binnenschifffahrt ausnahmslos von den Spezialisten dieses Instituts ausgeführt werden können.

2.4 Systematik der Versuchsdurchführung

Entsprechend den Verhältnissen bei Kanalfahrt waren im Versuchsprogramm nur Fahrten mit einreihig voreinander gekoppelten Modellen vorgesehen. Der interessierende Geschwindigkeitsbereich erstreckt sich von etwa 4 bis etwa 9 km/h. Die obere Grenze dieses Bereichs ergibt sich aus der Stauwellengeschwindigkeit, die unter Zugrundelegung des effektiven Kanalquerschnitts rd. 15 km/h beträgt. Überschreitet die Fahrgeschwindigkeit 60% der Stauwellengeschwindigkeit, so wird das Verhältnis zwischen erforderlicher Antriebsleistung und erreichbarer Geschwindigkeit bekanntlich zunehmend unwirtschaftlich.

Messungen wurden durchgeführt mit einem Schubprahm, mit zwei Prähmen (Tandem-Verband) und vier Prähmen (Doppeltandem- bzw. "integrated"-Verband), jeweils mit und ohne Schubboot. Bild 8 zeigt die verschiedenen Kombinationen zwischen den einzelnen Prahmformen, die im Rahmen des Versuchsprogramms untersucht wurden. Das Verhältnis n zwischen wasserführendem Kanalquerschnitt F und eingetauchter Hauptspantfläche f betrug bei 1,75 m Tiefgang $n = 7,5$.

Bild 9 zeigt einen Doppeltandem-Verband (ohne Schubboot), gebildet aus Schubprähmen der Form B bei 14 cm Modelltiefgang (= 1,75 m Prahmtiefgang) und 0,48 m/s bzw. 0,58 m/s Modellgeschwindigkeit (= 6,12 km/h bzw. 7,39 km/h bei Großausführung). Besonders aus dem unteren Foto ist das bei dieser Geschwindigkeit erzeugte Wellenbild gut ersichtlich.

3. Versuchsergebnisse

Die Systematik des Versuchsprogramms läßt bereits den Umfang der Widerstandsmessungen erkennen. Es würde zu weit führen, hier alle vorliegenden Meßergebnisse mitzuteilen. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Versuche, die mit $T_g = 1,75$ m gefahren wurden, also auf die Versuche, die im Sinne der eingangs erläuterten Zielsetzung von entscheidender Bedeutung und damit von besonderem Interesse sind.

Ferner seien den Versuchsergebnissen einige generelle Bemerkungen vorangestellt:

- a) Es sind Fälle in das Versuchsprogramm einbezogen worden, die in der Praxis nicht oder nur selten vorkommen, aber zur Klärung der Widerstandsverhältnisse wesentlich und von grundlegendem Nutzen sind. Hierzu gehören alle Versuche ohne Schubboot, alle Versuche unter ausschließlicher Verwendung der Form A und alle Versuche mit Einzelprähmen. Die Aussage der Ergebnisse erstreckt sich demzufolge nicht nur auf den Bereich, der für den praktischen Betrieb unmittelbar infrage kommt.
- b) Die Versuche ohne Schubboot dienen in erster Linie dem Zweck, unabhängig von störenden, den Widerstand beeinflussenden Elementen unter den vorgegebenen Fahrtbedingungen die strömungsgünstigste Prahmform zu finden. Ihre Ergebnisse bilden ferner die Grundlage, von der aus beurteilt werden kann, wie sich das Anhängen eines Schubbootes auf den Gesamtwiderstand von Schubverbänden verschiedener Form und Größe auswirkt.
- c) Eine ähnliche Aufgabe - nämlich eine Vergleichsbasis für die übrigen Prahmformen zu bilden - kommt der Form A in den Fällen zu, in denen sie nicht ihrer eigentlichen Bestimmung gemäß als "integrated section", sondern eigenständig untersucht wurde. Sieht man von der Rundung der Kimm ab, stellt die Form A ein reines rechtwinkliges Parallelepipèd dar, das unter allen Bedingungen gegenüber den anderen untersuchten Formen den höchsten Widerstand hat.
- d) In analoger Weise sind die Versuche mit Einzelprähmen zu werten: sie sollen Aufschluß über den Eigenwiderstand der kleinsten Einheit des Schubverbandes geben, um - hierauf aufbauend - die Vor- und Nachteile der verschiedenen Kombinationen bei der Formationsbildung von Schubverbänden besser ermessen zu können.

Alle Versuchsergebnisse sind in Diagrammen dargestellt; sie geben jeweils den absoluten Widerstand bzw. den auf das Displacement bezogenen spezifischen Widerstand in Abhängigkeit von der Schubprahmform bzw. -formation und von der Fahrgeschwindigkeit wieder.

3.1 Widerstände der einzelnen Schubprähme

Bild 10 zeigt den Widerstand der verschiedenen Schubprähmformen ohne Schubboot. Er wird ausschließlich variiert durch die unterschiedliche Ausbildung des angeströmten Bugteils, da das Heckteil in allen Fällen die gleiche, hinsichtlich des Widerstandes außerordentlich ungünstige Form hat. Die Gegenüberstellung ist deshalb besonders interessant, weil sie erlaubt, das Hinterschiff sozusagen zu eliminieren und ausschließlich das Vorschiff zu betrachten.

Wie bedeutend die Auswirkung einer guten Vorschiffsgestaltung auf den Widerstand sein kann, wird aus dem Vergleich der Formen B, C und D mit der Form A ersichtlich. Der Widerstand von B, C und D ist im Gesamtdurchschnitt nahezu um 40% geringer als der Widerstand von A. Dagegen differieren die Widerstände von B, C und D - insbesondere von B und D - untereinander nur um wenige Prozent, so daß es bei den beiden letztgenannten Formen durchaus angängig erscheint, die Wahl zwischen beiden infolge ihrer Gleichwertigkeit in strömungsmäßiger Hinsicht ausschließlich nach baupraktischen Gesichtspunkten zu treffen.

Bild 11 bestätigt im Prinzip diese These. Es gibt den Widerstand derselben Schubprähme, diesmal aber mit angehängtem Schubboot, wieder. Das Schubboot ändert einerseits nichts an der aufgezeigten Tendenz, andererseits aber ist es Anlaß zu einer interessanten Feststellung: der Widerstand eines jeden der untersuchten Prähme ist mit Schubboot geringer als ohne Schubboot, und zwar z.B. bei einer Geschwindigkeit von 7 km/h im Mittel immerhin um etwa 10%.

Die Erklärung hierfür ist zweifelsohne in dem Widerstandsanteil der Wasserschleppe am Gesamtwiderstand der einzelnen Schubprähme zu suchen, der infolge der ungünstigen Hinterschiffsform außerordentlich hoch ist. Das Einbringen eines strömungsgünstigen Körpers wie die Motorengondel in den Nachstrom verbessert die Abflußverhältnisse und senkt den anteiligen Widerstand der Wasserschleppe erheblich. Die aus Schubprähm und Schubboot gebildete neue Form des untersuchten Widerstandskörpers ist deshalb trotz der Oberflächen- und Volumenvergrößerung hydraulisch besser als der kleinere, nur aus dem Schubprähm bestehende Widerstandskörper.

Dieser Effekt ist - zumindest in diesem Ausmaß - natürlich nur bei Schwimmkörpern zu erzielen, bei denen eine entsprechende Form vorgegeben und bei denen der Anteil des Reibungswiderstandes zurücktritt gegenüber dem Anteil des Formwiderstandes am Gesamtwiderstand. Der Reibungswiderstand eines Einzelprähms B z.B. beträgt selbst bei einer Geschwindigkeit von über 9 km/h nur rd. 15% des Gesamtwiderstands, d.h. Widerstandsverbesserungen sind in solchen Fällen fast nur durch Formverbesserungen zu erzielen.

3.2 Widerstände von Tandem-Verbänden

Für die Praxis sehr viel wichtiger als der Widerstand von Einzelprähmen ist die Kenntnis des Widerstands der Standardformation, des Tandemverbandes. Bild 12 gibt hierüber für Verbände ohne Schubboot Aufschluß. Noch mehr als bei den Einzelprähmen macht hier eine gute Formgebung ihren Einfluß geltend, da sie nicht nur am angeströmten Vorschiff, sondern auch am hinteren Ende des Verbandes wirksam wird. Die Widerstandsdifferenz zwischen der Form A und den Formen B, C und D ist demzufolge noch größer als bei den Einzelprähmen; sie beträgt im Mittel rd. 50%. Der Anteil des Reibungswiderstandes am Gesamtwiderstand macht nunmehr bereits nahezu 30% aus.

Bild 13 zeigt den Widerstand derselben Verbände, jedoch mit angehängtem Schubboot. Die Meßergebnisse dieser Formationen unterscheiden sich kaum von denen der Verbände ohne Schubboot, und zwar bei allen Tandemformen (einschl. der Form A!). Aus diesen Ergebnissen ist zweierlei zu schließen:

- a) Im Vergleich zu den Einzelprähmen schränkt der höhere Reibungswiderstand augenscheinlich die Bedeutung der Formgebung schon merklich ein.
- b) Für den Gesamtwiderstand ist die Formgebung des mit dem Schubboot gekoppelten Endteils der Schubprähme unwesentlich. Die Form A bewirkt einen größeren Nachstrom und damit geringeren Eigenwiderstand des Schubbootes, während der schwächere Nachstrom der Formen B, C und D offensichtlich ausgeglichen wird durch einen entsprechend höheren Eigenwiderstand des Schubbootes.

Es hat also vom hydraulischen Standpunkt aus wenig Sinn, dem Endteil der Lastsektionen eines Schubverbandes eine strömungsgünstige Form zu geben und dabei einen vermehrten Arbeitsaufwand beim Bau und einen Tragfähigkeitsverlust durch einen kleineren Völligkeitsgrad δ in Kauf zu nehmen.

3.3 Widerstände von Schubverbänden mit 4 Lastsektionen

Bei den Schleppversuchen mit vier Lastsektionen sind nicht mehr alle vier Formen, sondern nur noch die bisher beste Form B bzw. Kombinationen der Form B mit der Form A untersucht worden. Von den 3 untersuchten Formationen - siehe Bild 14 - weist die Formation a mit 1689 t das größte Displacement auf, die Formation c hat 1666 t und die Formation b als der Doppeltandemverband 1620 t. Ohne Schubboot hat erwartungsgemäß die Formation c den geringsten Widerstand, und zwar beträgt er z.B. bei $v_g = 7$ km/h nur rd. 80% des Widerstands der Formationen a und b. Die Ursache für den höheren Widerstand der Formation a und b ist ohne Zweifel in der vermehrten Wirbelbildung durch das strömungsgünstige Endteil der Formation a bzw. durch die Unterbrechung des gleichmäßigen Strömungsverlaufs an der Koppelungsstelle zwischen den beiden Tandemverbänden bei der Formation b zu suchen. Der Anteil des Reibungswiderstands bei einer Geschwindigkeit von etwa 9 km/h am Gesamtwiderstand beträgt hier im Mittel bereits 56%. Es ist also anzunehmen, daß ein Anhängen des Schubbootes und damit eine Formveränderung sich nicht mehr in dem Maße und in dem Sinne auswirken wird wie bei kleineren Schubverbänden.

Diese Annahme wird in Bild 15 bestätigt. Der Widerstand der Verbände mit Schubboot gegenüber den Verbänden ohne Schubboot ist merklich angewachsen, außerdem ist eine Angleichung des Widerstandes von c an den von a und b eingetreten. Das angehängte Schubboot hat also den Vorteil, den die strömungsgünstige Form dem Frahmverband c gebracht hatte, weitgehend aufgehoben.

3.4 Einfluß der Schubverbandslänge auf den Einheitswiderstand

In Bild 16 sind die bisher behandelten Versuchsergebnisse als auf das Displacement bezogene Einheitswiderstände für $v_s = 7$ km/h zusammengestellt. Die Darstellung macht zum einen den Einfluß der Form, zum andern aber auch den Einfluß der Verbandslänge auf den Einheitswiderstand besonders deutlich.

Zum Beispiel hat ein Tandemverband (ohne Schubboot) aus der Form A einen Einheitswiderstand, der nur noch 57% des Einheitswiderstands beim Einzelprahm ausmacht.

Dieselbe Tendenz ist bei den übrigen Formen vorhanden, auch wenn sich hier durch die Formunterschiede zwischen dem Einzelprahm, dem Tandemverband und dem Doppeltandem bzw. "integrated"-Verband gewisse Nuancierungen ergeben. So beträgt beispielsweise bei der Form B der Einheitswiderstand des Tandemverbandes mit Schubboot nur 54,6% und der des Doppeltandemverbandes nur 50,4% vom Einheitswiderstand des Einzelprahmverbandes.

Da der Reibungswiderstand mit zunehmender Verbandslänge wächst, kann die degressive Tendenz des Einheitswiderstands nur auf eine anfangs sehr starke, später schwächer werdende Abnahme des Formwiderstands zurückgeführt werden. Leider sind Widerstandsmessungen an noch längeren Schubverbänden im Rahmen des Versuchsprogramms nicht vorgenommen worden. So kann hier nur spekulativ aus dem unterschiedlichen Verhalten von Form- und Reibungswiderstand geschlossen werden, daß der Einheitswiderstand bei einem bestimmten Längen/Breiten-Verhältnis ein Minimum haben und danach bei weiter zunehmender Verbandslänge wieder größer werden wird. Das entspräche dann im Prinzip den Ergebnissen, die Taylor bei Schleppversuchen mit Modellen von 30000-ts-Schiffen für 29 kn Geschwindigkeit unter systematischer Variation der Schiffslänge von 600 ... 1200 Fuß erhalten und in "Speed and Power of Ships" mitgeteilt hat.

Allerdings wird ein Anwachsen des Einheitswiderstands vermutlich erst bei Verbandslängen eintreten, die aus navigatorischen Gründen für die Kanalfahrt nicht in Betracht gezogen zu werden brauchen. Es kann deshalb für die Betriebspraxis ohne

Bedenken die Maxime gelten, daß eine möglichst große Länge der Schubverbände nicht nur aus Gründen der größeren Transportraumkapazität, sondern auch aus fahrdynamischen Gründen anzustreben ist. Ein größerer Schubverband bedarf unter sonst gleichen Bedingungen einer kleineren Vortriebsleistung pro t Deplacement oder Ladung bzw. er vermag mit derselben Einheitsleistung schneller zu fahren als ein kleinerer.

4. Propulsionsversuche

Wie bereits erwähnt, wurden und werden noch in Ergänzung zu den Widerstandsmessungen Propulsionsversuche durchgeführt. Obwohl sie noch nicht abgeschlossen sind und - streng genommen - nicht zum eigentlichen Thema gehören, soll hier doch in einem Diagramm gezeigt werden, mit welchem Leistungsbedarf in etwa bei den in-frage kommenden Geschwindigkeiten bei Kanalfahrt zu rechnen ist.

Bild 17 gibt den Leistungsbedarf für Verbände an, die aus dem Schubboot S 1 und Schubprähmen der Form B gebildet wurden. Er wurde mit dreiflügeligen Propellern ermittelt, die einen Durchmesser von 98 mm, ein Steigungsverhältnis $H/D = 1,2$, ein Flächenverhältnis $F_a/F = 0,42$ sowie Blattformen nach Gawñ (mit elliptischem Umriß und Kreisbogenprofilen) hatten. Hinsichtlich des Propulsionswirkungsgrades wurden die diesbezüglichen Berechnungen durch die Versuchsergebnisse im wesentlichen bestätigt.

Über weitere Ergebnisse von Propulsionsversuchen wird zu gegebener Zeit an anderer Stelle berichtet werden.

5. Der Einfluß der Formgebung auf die Transportleistung

Die Widerstandsuntersuchungen sollen nicht zuletzt eine Aussage über den Einfluß des Widerstands auf die jährliche Transportleistung ermöglichen. Mit "jährlicher Transportleistung" wird hier das Produkt aus der Bruttotonnage (= Deplacement) in t und der

Fahrstrecke in km verstanden, das sich für die noch zu definierende jährliche Fahrzeit nach Maßgabe der durch die Widerstandsversuche ermittelten, einer vorgegebenen Schleppleistung zugeordneten Fahrgeschwindigkeit ergibt.

Die Bruttotonnage ist also nicht identisch mit der Tragfähigkeit. Eine exakte Angabe der letzteren ist nicht möglich, solange das Eigengewicht der Prähme nicht genau berechnet ist bzw. - noch besser - solange das amtliche Eichergebnis nicht vorliegt.

Die Schleppleistung (EPS) ergibt sich aus dem Widerstand W und der zugehörigen Geschwindigkeit v_s nach der bekannten Gleichung

$$\text{EPS} = \frac{W \cdot v_s}{75}$$

Zur Ermittlung der jährlichen Betriebszeit dienten folgende empirische Durchschnittswerte:

Einsatzzeit = 300 Tage/Jahr
Reisezeit = 40% der Einsatzzeit = 120 Tage/Jahr
Betriebszeit = 12 h/Tag
Fahrzeit = 120 · 12 = 1440 h/Jahr.

Die sich für verschiedene Schleppleistungen für die untersuchten Schubverbände jährlich ergebenden tonnenkilometrischen Bruttoleistungen sind in Bild 18 zusammengestellt.

Die Zusammenstellung läßt gut erkennen, daß sich selbst geringfügig erscheinende Geschwindigkeitsverbesserungen weitaus mehr auf die Transportleistungskapazität auswirken als es eine - nur in engen Grenzen mögliche - Erhöhung der Tragfähigkeit durch einen völligeren Schiffskörper vermag. Das heißt mit anderen Worten: der Formgebung sowohl der Schubprähme als auch der Schubverbände kommt eine nicht zu unterschätzende Bedeutung hinsichtlich einer optimalen Transportleistungskapazität zu.

Betrachten wir daraufhin noch einmal die Zusammenstellung und vergleichen z.B. die 3 Viererverbände bei einer vorgegebenen Schleppleistung von 100 EPS miteinander, so können wir feststellen, daß die Formation c gegenüber der Formation b eine Jahres-

mehrleistung von 1010000 tkm und gegenüber der Formation a von 190000 tkm erbringt. Multipliziert man diese Werte mit der Anzahl der in Einsatz zu bringenden Schubverbände, können sich sehr beachtliche Differenzen ergeben.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, möchte ich ausdrücklich darauf hinweisen, daß diese Zahlenvergleiche lediglich den Einfluß verdeutlichen sollen, den die Schiffsform auf die Transportleistung haben kann. Die effektive Transportleistung wird selbstverständlich noch von einer Reihe anderer Faktoren mitbestimmt, die wohl bei ökonomischen Untersuchungen zu berücksichtigen, im Zusammenhang mit Betrachtungen über den Schiffswiderstand jedoch vernachlässigbar sind.

6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

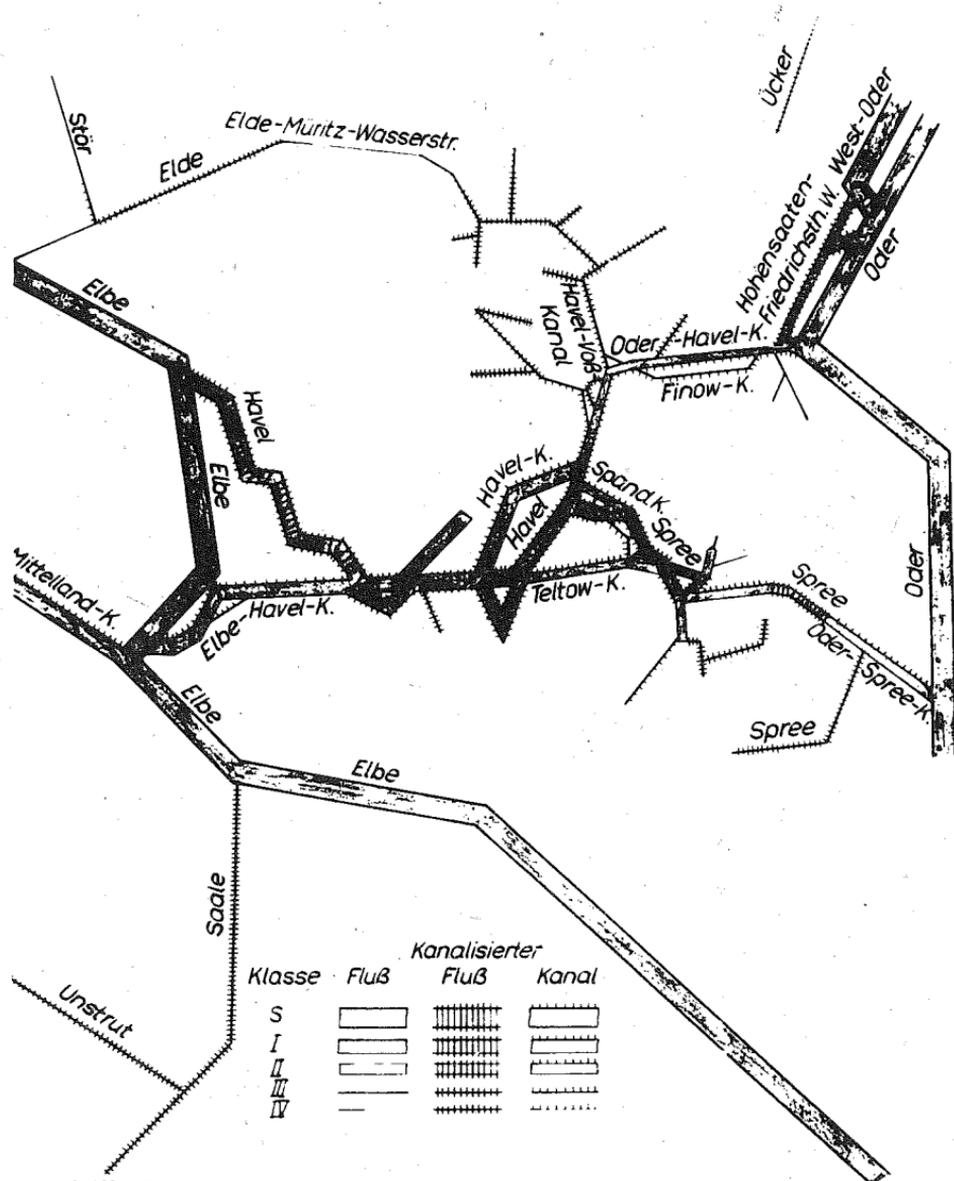
Abschließend können die Ergebnisse der Widerstandsmessungen an Schubprähm-Modellen unter den Bedingungen der Kanalfahrt in allgemeinen und spezifischen Schlußfolgerungen zusammengefaßt werden (die übrigens in Übereinstimmung stehen mit den bisherigen prinzipiellen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Fahrdynamik). Hierzu gehören insbesondere:

- a) Die Maxime, daß die wirtschaftliche Fahrgeschwindigkeit bei etwa 50% - 60% der Stauwellengeschwindigkeit liegt, wird durch den Kurvenverlauf in den Diagrammen bestätigt. Der ökonomisch vertretbare Bereich der maximalen Fahrgeschwindigkeit liegt demnach bei 7,5 ... 9 km/h. Es bringt keinen Gewinn, im Schubboot eine Antriebsleistung zu investieren, die größer ist als für diese Fahrgeschwindigkeit erforderlich.
- b) Trotz der relativ geringen Fahrgeschwindigkeiten machen es die in hydraulischer Hinsicht besonders ungünstigen Verhältnisse der Kanalfahrt auch und gerade bei Schubverbänden erforderlich, im Rahmen der durch die einfache Bauart der Schubprähme vorgegebenen Grenzen eine gute Formgebung anzustreben. Die Versuchsergebnisse weisen eindeutig aus, daß die Formgebung der einzelnen Schubprähme bei intensivem Einsatz von großer Bedeutung für die tonnenkilometrische Leistung der Schubverbände und den ökonomischen Effekt sein kann.

- c) Die Länge der Schubverbände sollte stets so groß sein, wie die jeweiligen Umstände es nur irgend zulassen, da der Einheitswiderstand mit zunehmender Verbandslänge erheblich abnimmt. Es sei daran erinnert, daß die ausschließlich auf eine Verdopplung der Verbandslänge zurückzuführende Minderung des Einheitswiderstandes bei einem einfachen Schubverband und 7 km/h Fahrgeschwindigkeit 43% betrug.
- d) Während große Längen bei Einzelschiffen ein hohes Schiffskörpergewicht, hohe Gestehungskosten und eine Beeinträchtigung der Tragfähigkeit bedingen, entfallen diese Nachteile bei der Längenausbildung von Schubverbänden der hier untersuchten Art. Ohne Zweifel lassen sich mit letzteren gute Ladegütegrade (Quotient aus Ladefähigkeit in t und Antriebsleistung in PS) und günstige ökonomische Bedingungen für den Bau und Betrieb erreichen.
- e) Optimale Betriebsergebnisse sind von "integrated"-Verbänden der Form c zu erwarten, die aus einer Kombination der Schubprähmformen D und A bestehen. Die Form D ist wegen der einfacheren Bauweise der Form B vorzuziehen, obwohl letztere hinsichtlich des Widerstands geringfügig günstiger ist. Diese Formation ist auch in betriebstechnischer Hinsicht als vorteilhaft anzusehen, da sie infolge ihrer symmetrischen Form ein Wenden des Schubverbandes überflüssig macht. Ein Vergrößern der Standardformation (Tandemverband) ist durch Zwischenkoppeln (in den gegebenen Grenzen) beliebig vieler Lastsektionen der Form A möglich, ohne den Widerstand negativ zu beeinflussen.
- f) Für einen Vierer-Verband der Formation c und ein Schubboot der Form S 1 mit 2 optimal ausgelegten Propellern in Kortdüsen ist eine Vortriebsleistung von etwa 250 PS erforderlich, um unter Kanalbedingungen, wie sie den Versuchen zugrunde lagen, eine Fahrgeschwindigkeit bis zu 7,5 km/h zu erreichen.

Aufgabe dieser Untersuchungen war es in erster Linie, aus einer Reihe von Vorschlägen die widerstandsgünstigste Form für die später in Serie zu bauenden Schubprähme und die Formationsbildung zu ermitteln, die unter den hydraulisch besonders ungünstigen Bedingungen der Kanalfahrt die beste tonnenkilometrische Transportleistung ermöglicht. Diese Aufgabe darf zunächst als gelöst betrach-

tet werden. In Kürze wird nach Maßgabe der Versuchsergebnisse ein Schubverband als Funktionsmuster gebaut und in Großversuchen erprobt. Zu gegebener Zeit wird über diese Erprobungen und insbesondere über den Grad der Übereinstimmung von Modell- und Groß Versuchsergebnissen berichtet werden.



Klasse	Kanalisierte		
	Fluß	Fluß	Kanal
S			
I			
II			
III			
IV			

Mit Schubverbänden von 8,2m Breite befahrbare Wasserstraßen der DDR

Tragfähigkeitsvergleich

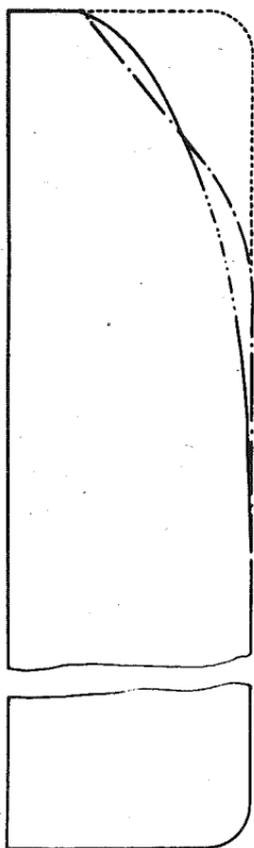
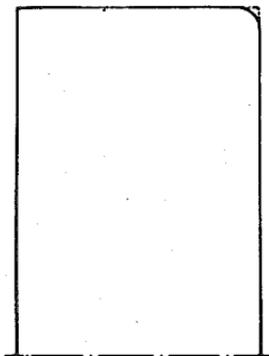
zwischen Schleppkahn und Schubprahm

I = Großplauer Maßkahn

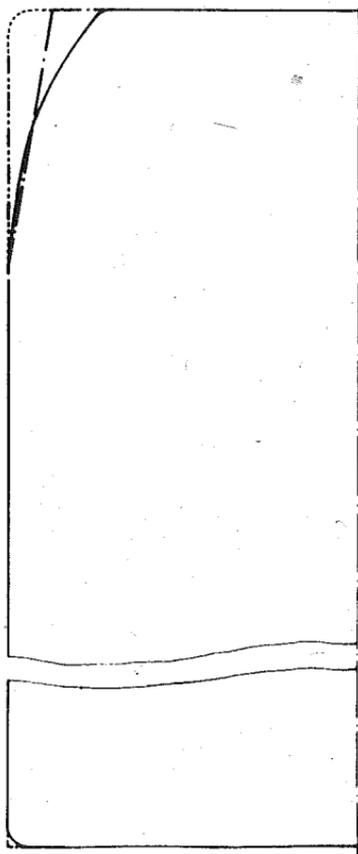
II = Einzelprahm

III = Tandemverband

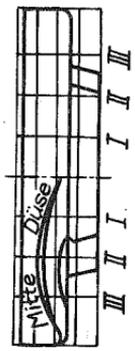
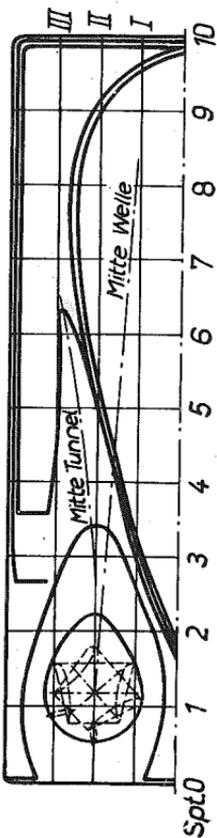
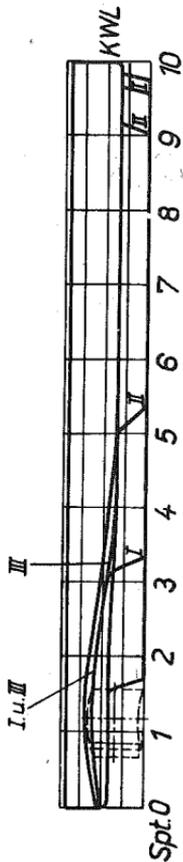
Bezeichnung	I	II	III
LüA-----m	67,0	30,0	60,0
BüA-----m	8,2	8,2	8,2
H-----m	2,25	2,25	2,25
Tg (KWL)-----m	2,0	2,0	2,0
LBH-----m ³	1240	555	1110
L/B-----	8,16	3,66	7,32
δ (bez. auf KWL)-----	0,861	0,979	0,979
Displacement-----m ³	940	480	960
Tragfähigkeit-----t	750	432	864
Tragf./Depl.-----	0,8	0,9	0,9
Tragfähigkeit von III bezogen auf I-----%	100		115



- Form A
- Form B
- - - - Form C
- - · - Form D

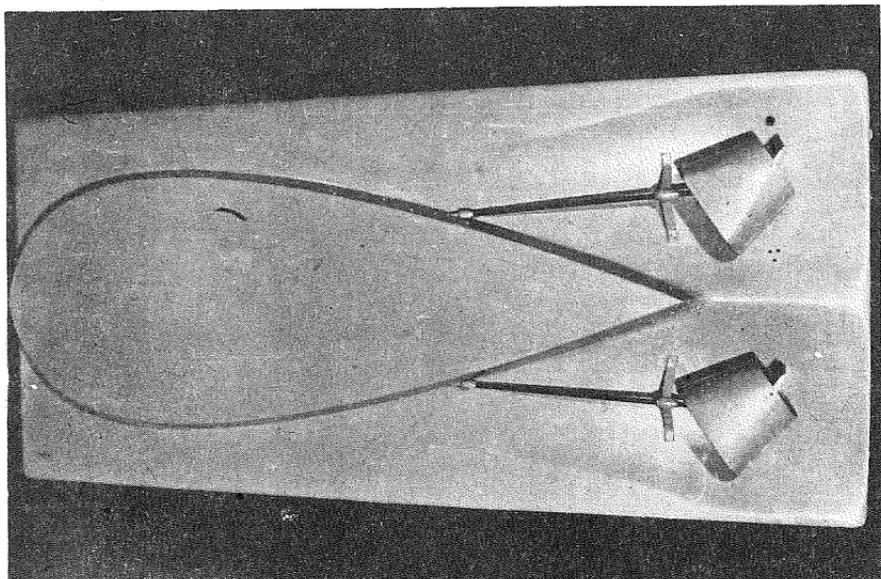


Schubprahm - Formen

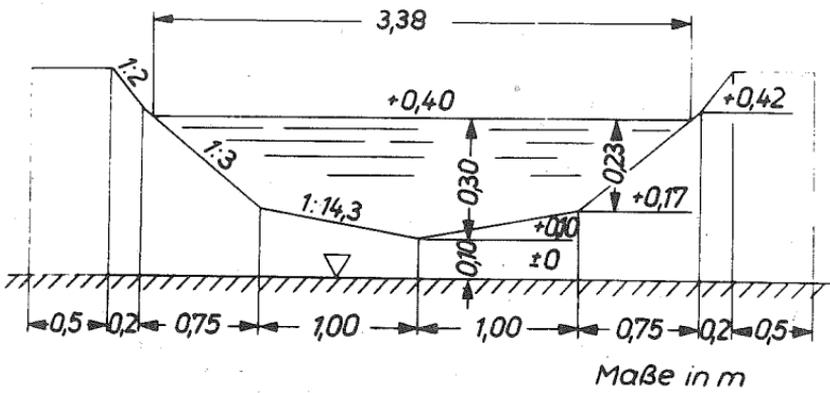


- Länge ü.a. = 18,00 m
- Breite a. Spt. = 8,20 m
- Konstr. Tiefgang = 1,10 m³
- Verdrängung = 76,5 m³
- δ = 0,471
- \odot d.L.n.v.Spt.0 = 11,61 m
- max.Spanntfläche bei $T_g=1,10$ m = 6,97 m²

Schubboot mit drehbaren Düsen (Form S1)

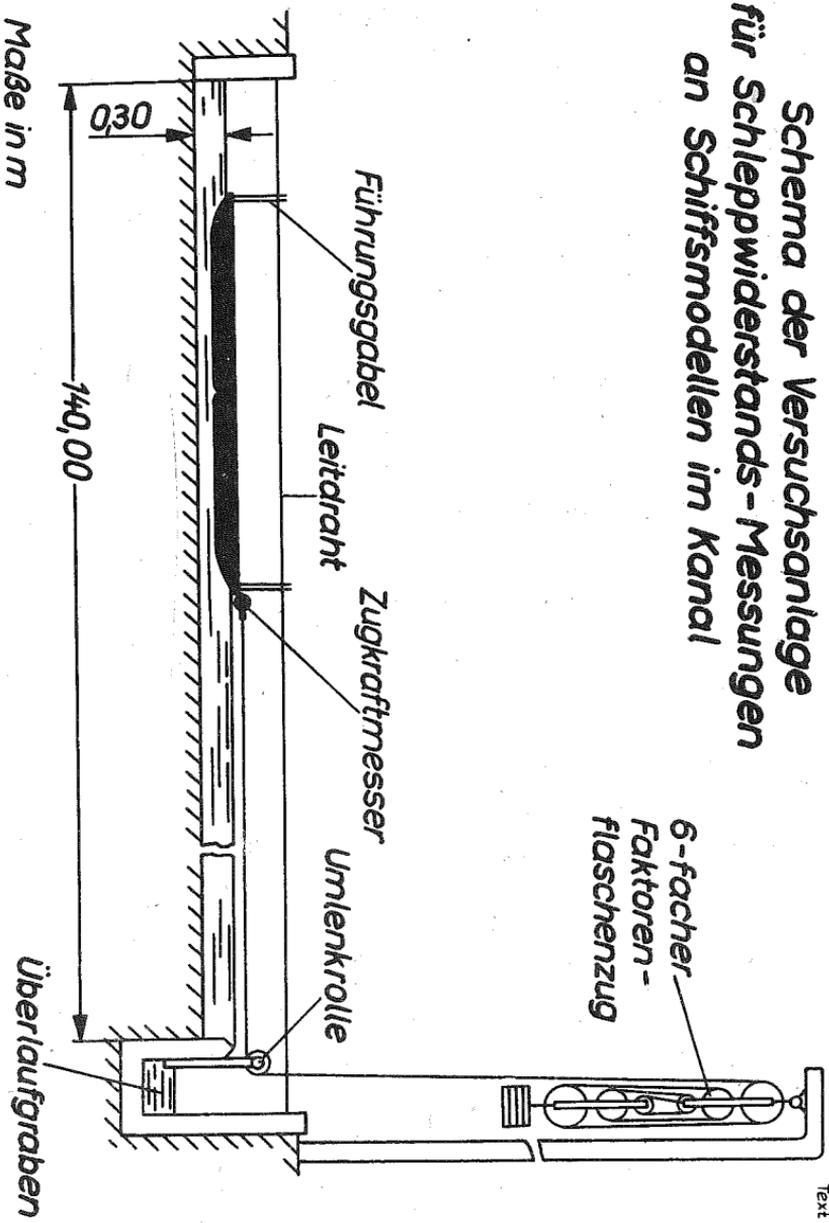


Motorengondel und schwenkbare Propellerdüsen des
Schubbootmodells S 1



Modellrinne in Marquardt
(Querschnitt)

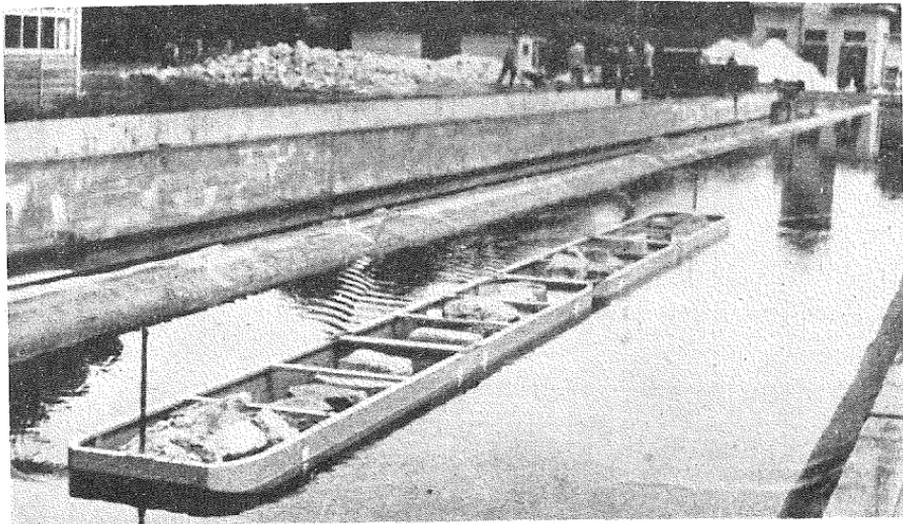
Schema der Versuchsanlage für Schleppwiderstands-Messungen an Schiffmodellen im Kanal



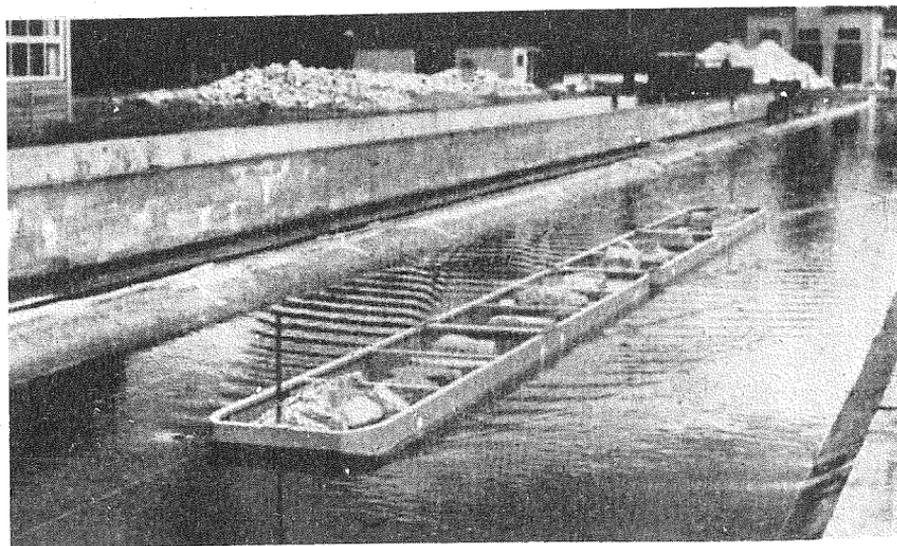
Versuchsprogramm

Bild 8
Text : 5.23

Formation ohne Schubboot		Tiefgang [m]				Formation mit Schubboot		Tiefgang [m]			
		0,27	0,75	1,25	1,75			0,27	0,75	1,25	1,75
Einzelfahrzeug	A	X	X	X	X	A	-	-	-	-	X
	"	X	X	X	X	B	X	-	-	-	X
	"	X	X	X	X	C	X	-	-	-	X
	"	X	X	X	X	D	-	-	-	-	X
Tandem	A	-	-	-	X	A	-	-	-	-	X
	"	X	X	X	X	B	X	-	-	-	X
	"	X	X	X	X	C	X	-	-	-	X
"	D	-	-	-	X	D	-	-	-	-	X
Doppeltandem		X	X	X	X	B	X	-	-	-	X
Integrated - Verband		X	-	-	X	B-A-A-B	X	-	-	-	X
B-A-A-B		X	-	-	X	B-A-A-A	X	-	-	-	X
B-A-A-A		X	-	-	X	B-A	X	-	-	-	X



Doppeltandem-Verband bei 14 cm Modelltiefgang
(= 1,75 m Schiffstiefgang) und 0,48 m/s Modell-
geschwindigkeit (= 6,12 km/h Schiffsgeschwindig-
keit)

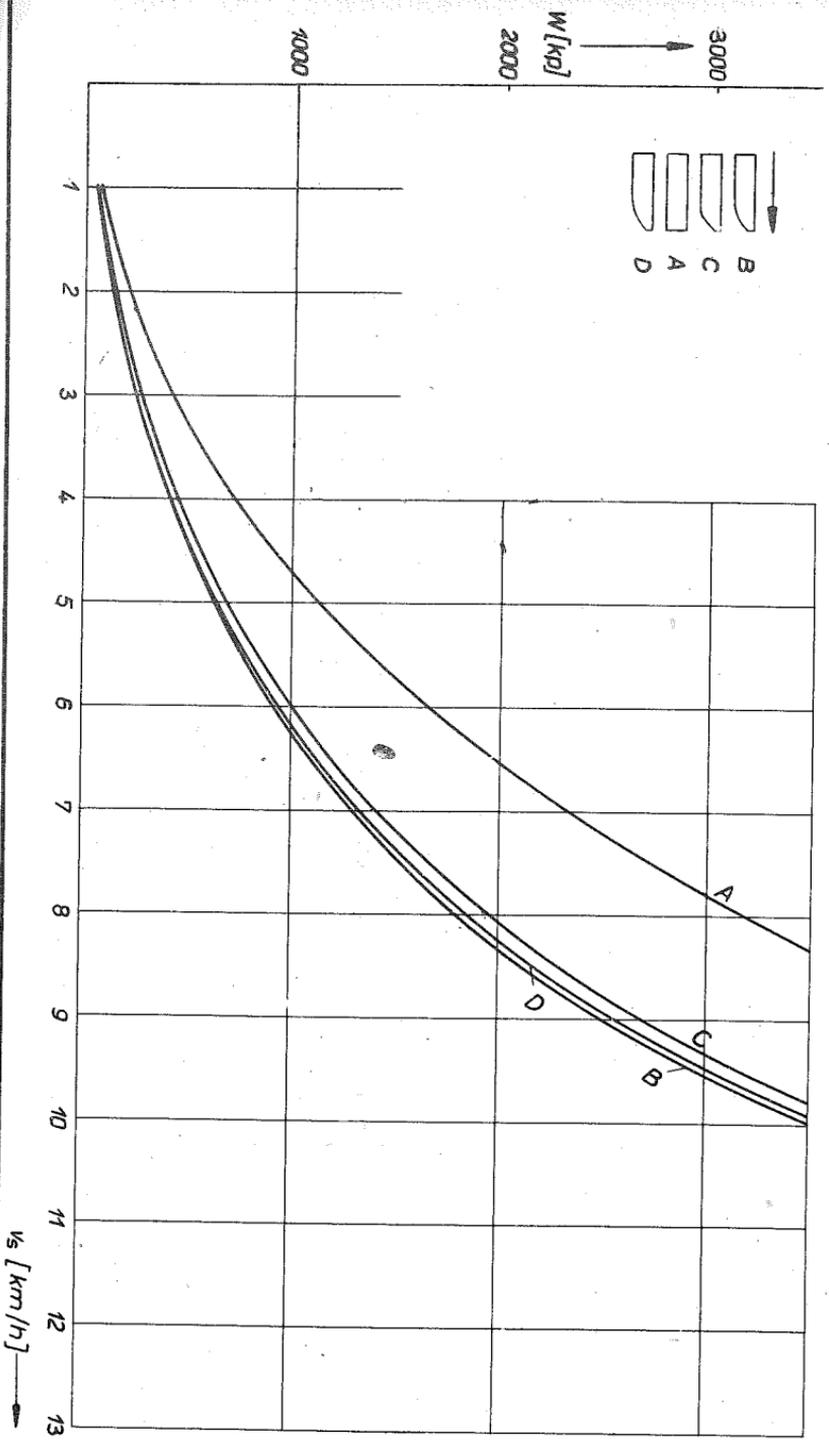


Doppeltandem-Verband bei 14 cm Modelltiefgang
(= 1,75 m Schiffstiefgang) und 0,58 m/s Modell-
geschwindigkeit (= 7,39 km/h Schiffsgeschwindig-
keit)

Schleppwiderstand

Einzelröhre ohne Schubboot - $T_g = 1,75m$

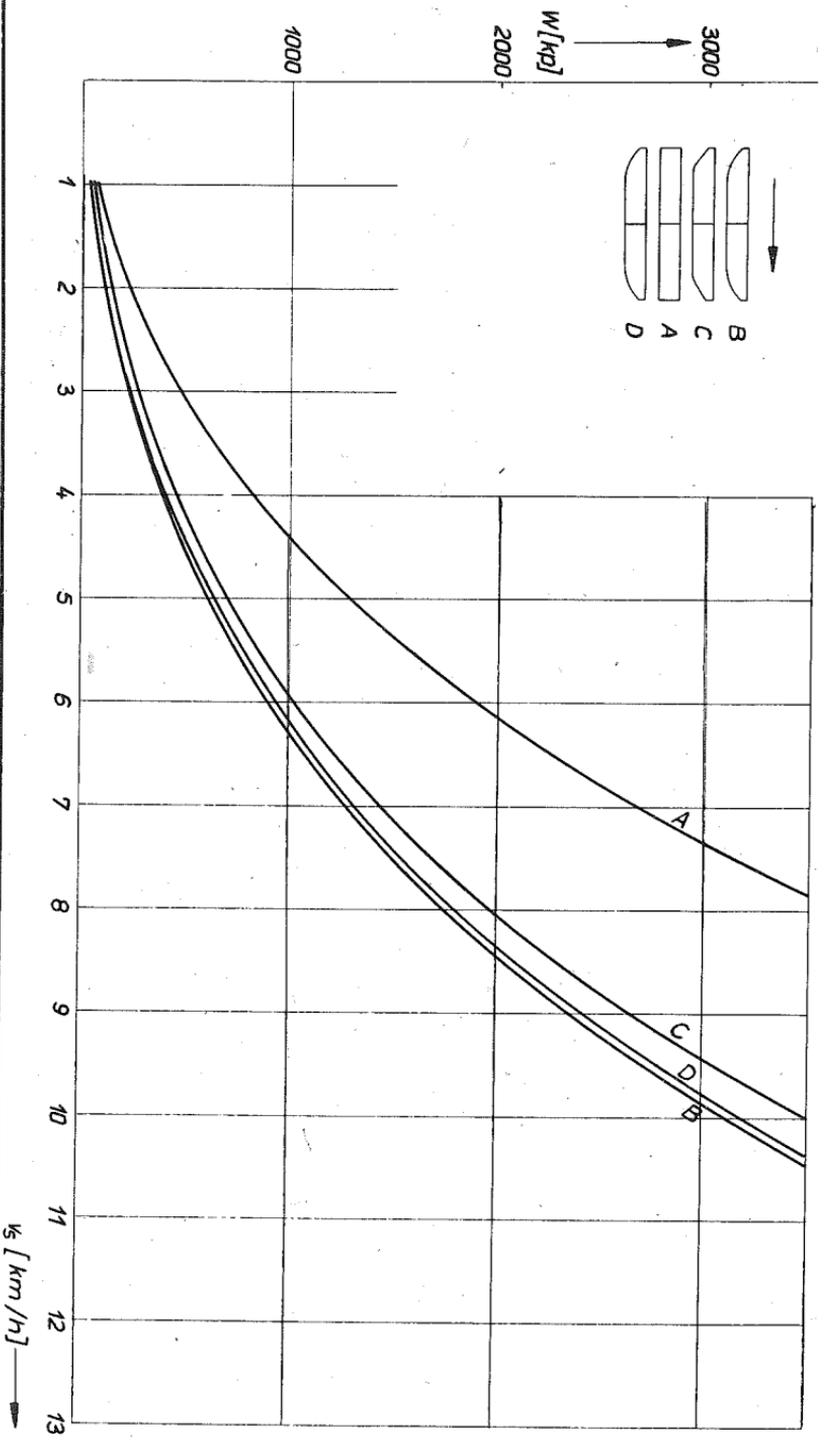
Bild 40
Text: 5.25



Schleppwiderstand

Tandem ohne Schubboot - $T_g = 1,75 \text{ m}$

Bild 12
Text: 5.26

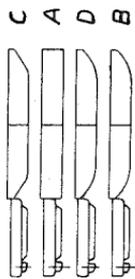


Schleppwiderstand

Tandem mit Schubboot Form S 1

$T_g = 1,75 \text{ m}$

Bild 13
Text: S.26

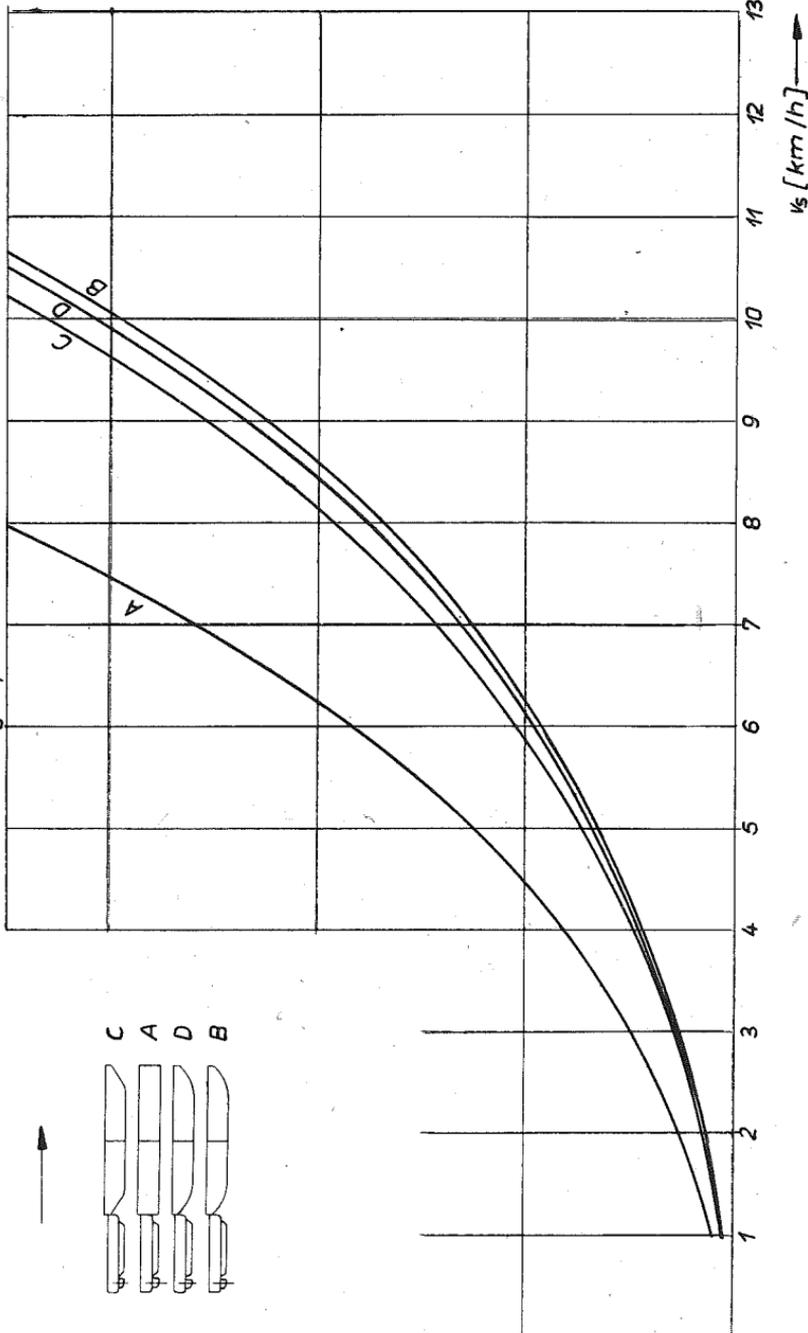


3000

W [kp]

2000

1000



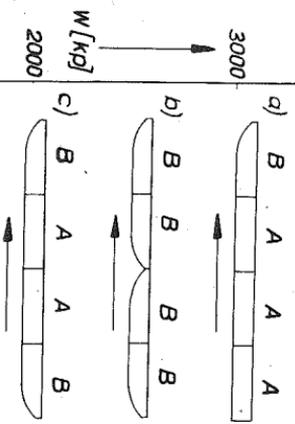
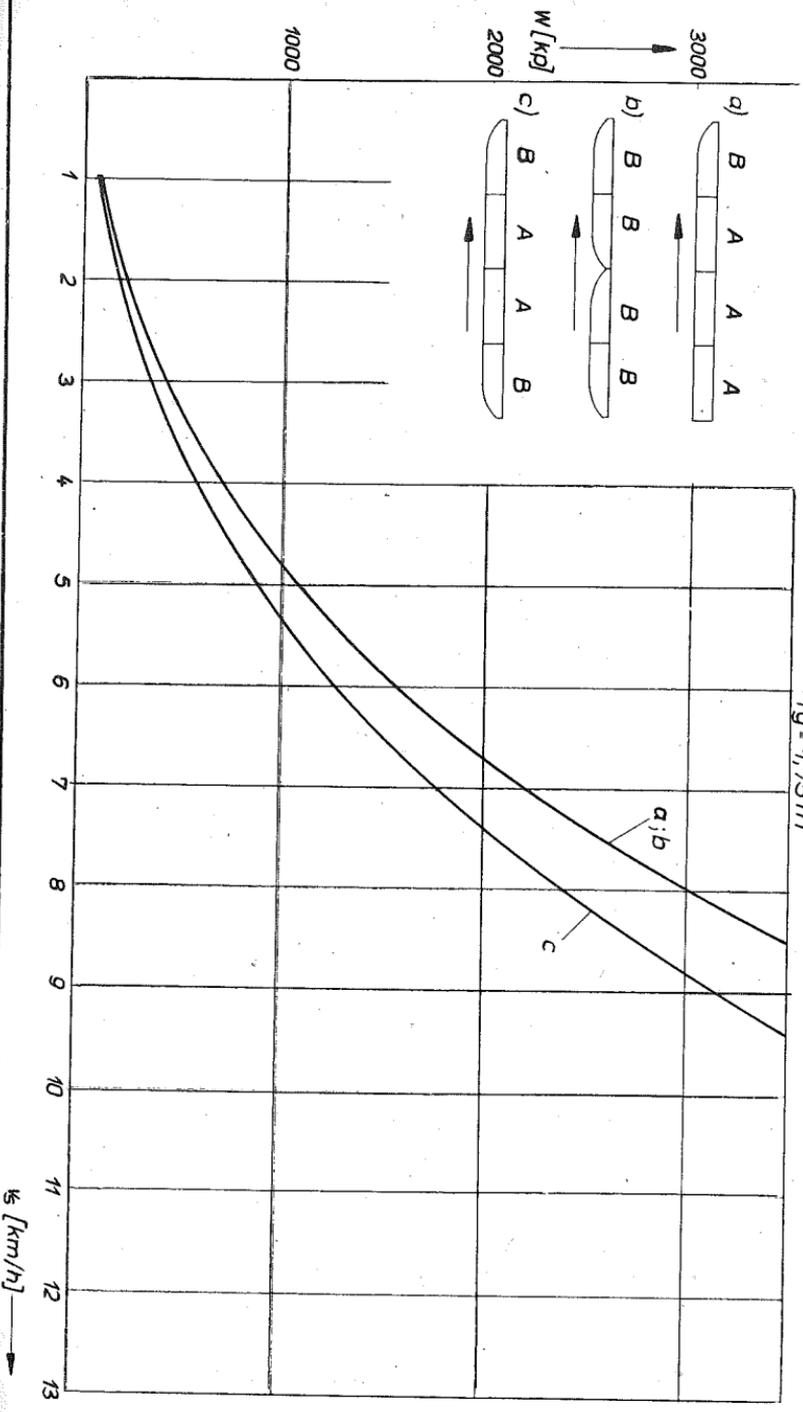
v_s [km/h]

Schleppwiderstand

Schuberbände mit 4 Lastsektionen ohne Schubboot

$T_g = 1,75 \text{ m}$

Bild 4/
Text: 5.27



10000

2000

3000

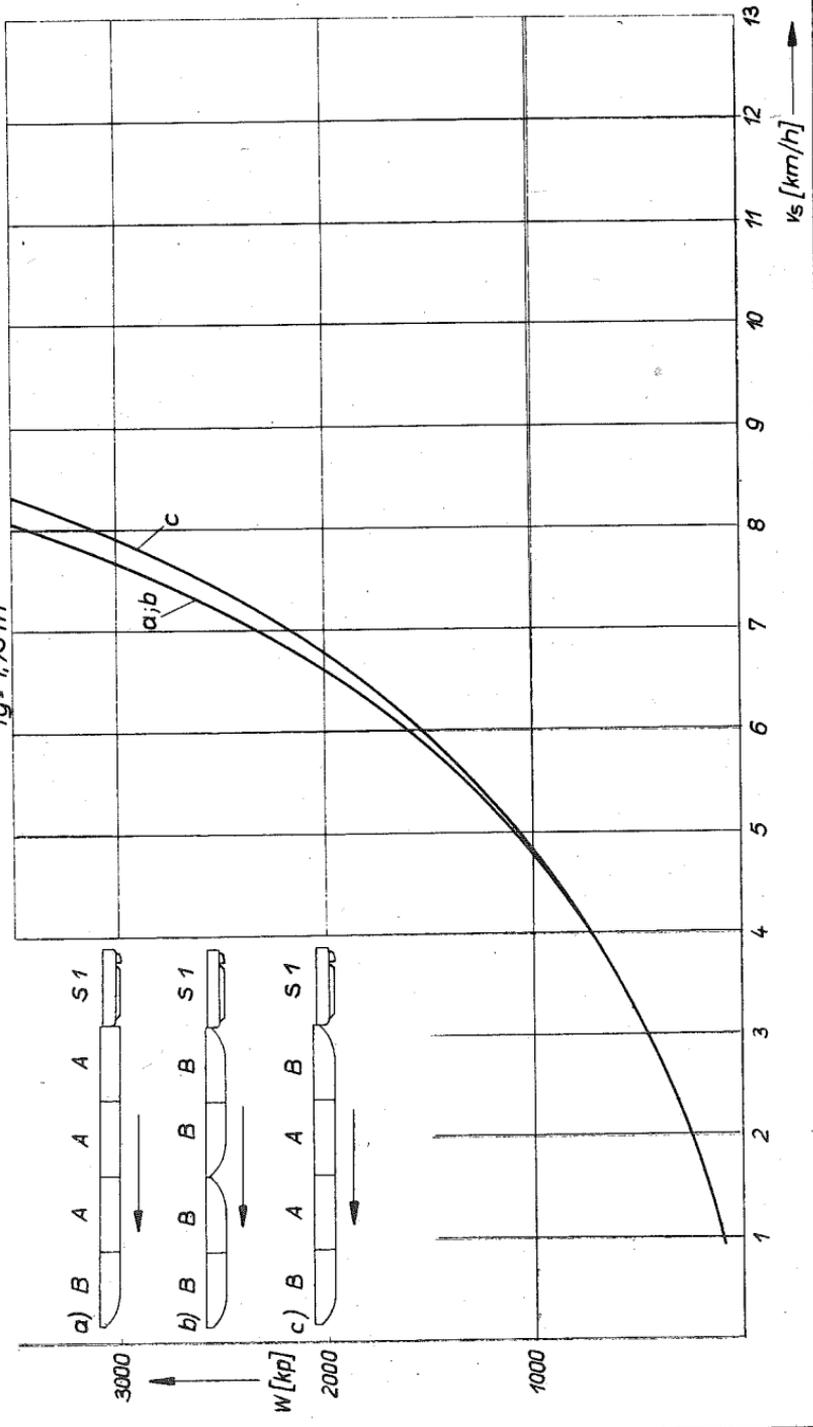
W [kN]

v_s [km/h]

Schleppwiderstand

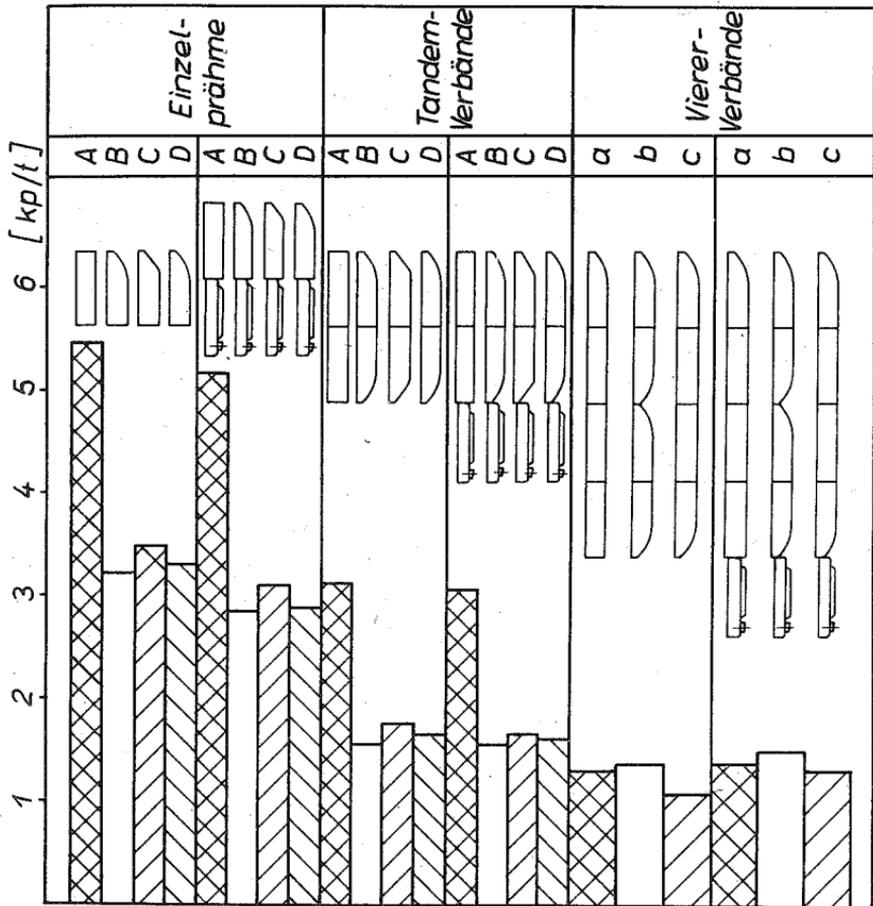
Schubverbände mit 4 Lastsektionen mit Schubboot S1
 $T_g = 1,75 \text{ m}$

Bild 15
 Text : S.27



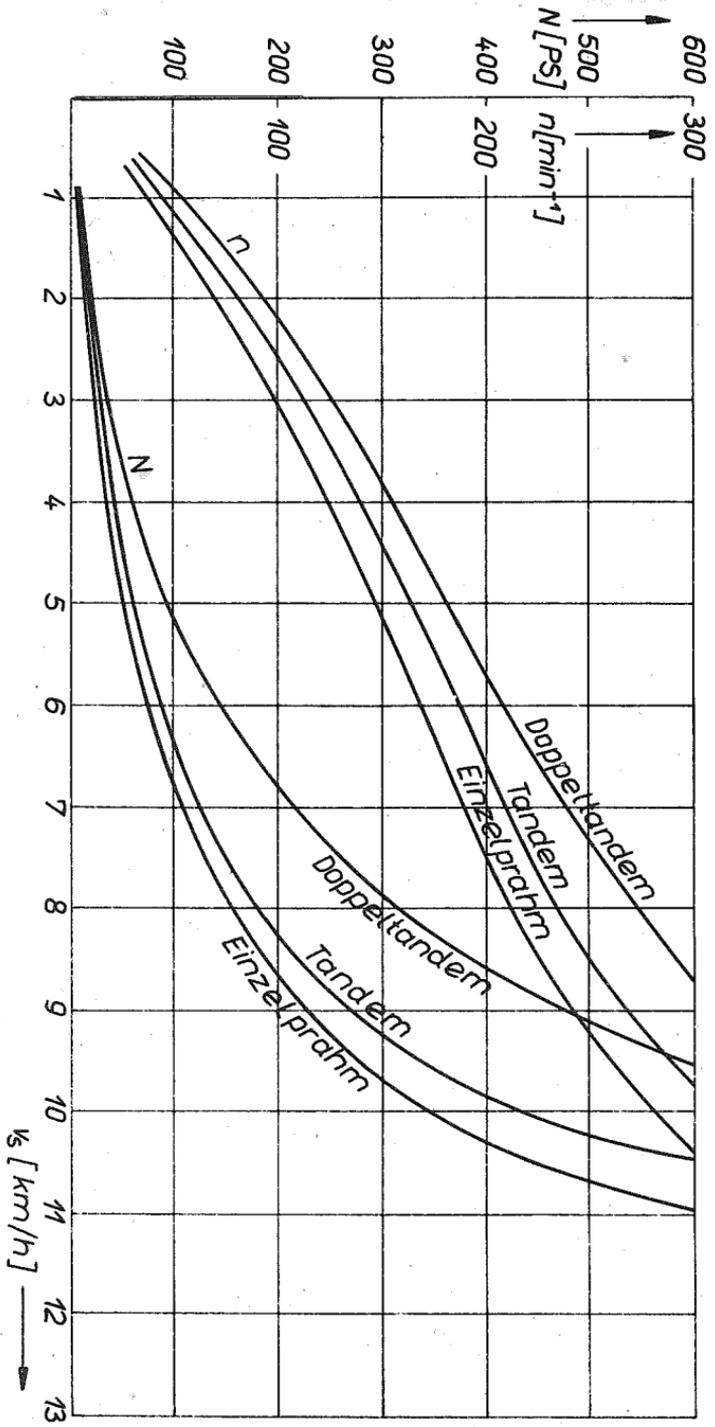
Einheitswiderstand W/D [kp/t]

der verschiedenen
Schubverbände
 $v_s = 7 \text{ km/h}$
 $T_g = 1,75 \text{ m}$



Leistungsbedarf des Schubbootes S1

für den Vortrieb von Schubverbänden (Schubprähme Form B; $T_g = 1,75m$)



D i s k u s s i o n

Direktor i.R. Ing. O. Zschiesche (schriftlich):

Seit Jahrzehnten ist man bestrebt, die Binnenschifffahrt rentabler zu gestalten. Dies bezog sich sowohl auf die Schaffung günstiger Schiffsformen als auch auf die Festlegung der erforderlichen Abmessungen und der Form der Kanäle.

Es ist bekannt, daß Kähne mit der sogen. Amadaform, die fast genau mit einer von Krey 1910 untersuchten Form (Modell 167) übereinstimmte, sich als recht vorteilhaft in dem verlangten Sinne ergab. Gefunden wurde auch, daß Schiffe mit eckiger Kimm schlecht waren.

Der Querschnitt der Kanäle soll mindestens das 5-, besser das 6-fache des Hauptspantquerschnittes der auf ihnen fahrenden Schiffe betragen. Die Fahrgeschwindigkeit soll den Wert 0,5 bis 0,6 der Wellenschnelligkeit des betreffenden Kanals nicht übersteigen; also $0,5 \text{ bis } 0,6 \sqrt{g R}$, worin R der hydraulische Radius dem um den Hauptspantquerschnitt und die Fläche der Absehkung neben dem Schiff verminderten Kanalquerschnitt, dividiert durch den während der Fahrt verbleibenden Umfang und g die Erdbeschleunigung ist. Bei gegebener Querschnittsgröße soll das Verhältnis $B/T = \text{Breite des Querschnitts dividiert durch die größte Kanaltiefe}$ klein sein.

Die rasche Entwicklung des Verkehrs nach dem 2. Weltkrieg zwang zur Beschleunigung des Schiffsumlaufes und zur Motorisierung der Schifffahrt. In geringem Maße wurden Motorgüterschiffe gebaut. Bekannt sind die aus der Not der Zeit geborenen Z-Antriebe, mit denen man eine möglichst schnelle Motorisierung vorhandener Kähne bezweckte, weil ein sofortiger Ersatz der vorhandenen alten und meist verbrauchten Kähne durch Motorgüterschiffe nicht sofort möglich war. Hinzu kam noch ein sich bereits deutlich abzeichnender beginnender Personalmangel in der Binnenschifffahrt.

Auf der Suche nach neuen Wegen zur Behebung aller Schwierigkeiten kam man auch auf die Schubschifffahrt, die hier zur Aussprache steht und die von Vertretern der Forschungsanstalt seit 1951 propagiert wurde.

In der UdSSR wie auch auf den großen Seen Nordamerikas ist sie bereits eingeführt. Auf dem Rhein wurden ebenfalls Versuche angestellt.

Der Vortragende hat die Vorteile der Schubschifffahrt erläutert. Daß ihre Einführung bei uns gut überlegt werden mußte, ist durch die wenig breiten Gewässer, die zu befahren sind, gegeben. Die vom Vortragenden erwähnte Versuchsfahrt mit den beiden Breslauer-Maßkähnen, wobei eines das schiebende Boot war, die 1958 vom Ihle-Plauer-Kanal bis Berlin durchgeführt wurde, gab wohl zu berechtigten Hoffnungen Anlaß, befriedigte in Berlin mit den kleinen Krümmungsradien der Spree aber nicht vollständig. Gerade diese Versuchsfahrt hatte gezeigt, daß eine weise Beschränkung der Gesamtlänge des Schubverbandes unter Beibehaltung der Regelbreite der bisherigen Schiffe erfolgen muß, um die Schubschifffahrt bei uns zu ermöglichen.

Die Materialmengen, die eine gesamte Regenerierung der Binnenflotte erfordern würde, sind erheblich. Es lag deshalb nahe, zu untersuchen, ob unter Berücksichtigung der Festigkeit der einzelnen Schiffsgefäße das Verhältnis L/B nicht so geändert werden kann, daß wesentliche Materialmengen eingespart werden können. Die in der Forschungsanstalt unter der Leitung von Herrn Heise durchgeführten Untersuchungen ergaben Abmessungen, wie sie nunmehr bei den hier vorgetragenen Versuchen Verwendung finden konnten.

Eine große Gefahr zeichnete sich damals, d.h. vor etwa 3-4 Jahren, für die Wirtschaft unseres Arbeiter- und Bauernstaates ab. Es wurden Ansichten geäußert, daß bei den kleinen Fahrgeschwindigkeiten der Schiffe auf unseren Wasserstraßen die Form der neuen "Prähme" keine wesentliche Rolle spielt, man könnte zwecks bester Ausnutzung des Schiffsraumes die "Prähme" ohne abgerundete Kimm und besondere Formgebung zur Herabsetzung des Widerstandes ganz völlig bauen. Damit wurde das über 7 Jahrzehnte reichende Bemühen, günstige Schiffsformen zu erhalten, ignoriert und dies um so mehr, weil doch die Fahrgeschwindigkeit gegenüber der Vergangenheit noch gesteigert werden soll.

Zwar wären beim industriellen Aufbau der Binnenflotte erhebliche Mittel gespart worden, die Binnenreederei hätte dafür aber Jahr für Jahr mit hohen Betriebskosten bluten müssen.

Für die Forschungsanstalt ergab sich in dieser Situation die zwingende Notwendigkeit, hier schnellstens durch Modellversuche klärend einzugreifen.

Die auf dem Versuchsgelände Potsdam im Maßstab 1:12,5 durchgeführten Versuche entsprechen der üblichen Art derartiger Versuche. Es handelt sich um eine etwas abgewandelte Wellenkampfmethode. Statt daß das Zuggewicht in einen vertieften Schacht herunterfällt, wurde eine Umlenkungsrolle und ein Flaschenzug benutzt. Dadurch, daß die wirkende Zugkraft direkt am Schiff an einem Dynamometer abgelesen wurde, brauchten die Reibung im Flaschenzug und an der Umlenkrolle sowie die Seilfestigkeit nicht besonders bestimmt zu werden. Mit einem eingearbeiteten Versuchspersonal mußten vergleichbare Ergebnisse erwartet werden. Nach Angabe des Vortragenden sind die Streuungen nur geringfügig. Aus den gezeigten Auftragungen kann dies leider nicht kontrolliert werden.

Aus den Messungen mit Einzelprämen, dem Tandem- und dem Viererverband geht eindeutig hervor, daß eine gute Formgebung der Einzelprähme von Bedeutung ist - sowohl für die Leistung in tkm wie für die Wirtschaftlichkeit der Schubschiffahrt.

Eindeutig geht weiter aus den Ergebnissen hervor:

- a) daß eine eckige Kimm der Prähme schädlich ist,
- b) daß Änderungen in der Größe der Spantflächen innerhalb der Verbandslänge nicht gut sind,
- c) daß das angehängte Schubboot bei Einzel- und Tandemprämen eine Verkleinerung des Widerstandes verursacht; beim Viererverband tritt eine Erhöhung ein.

Die mit Schubboot und Viererverband der Zusammenstellung c gemessenen Widerstände scheinen zu den anderen Versuchsergebnissen nicht ganz zu passen. Die Zunahme des Widerstandes mit Schubboot gegenüber dem ohne Schubboot erscheint etwas zu groß. Die gege-

bene Erklärung ist wohl nur zum Teil zutreffend, denn die Zunahme des Widerstandes mit Schubboot bei den Zusammenstellungen a und b ist bedeutend geringer als bei c, während sie doch wenigstens bei der Zusammenstellung b etwa gleich sein müßte. Diese Einzelercheinung setzt den großen Gesamtwert der gesamten Untersuchungen keineswegs herab.

Die Abnahme des Einheitswiderstandes mit zunehmender Länge des Schubverbandes hat sich aus den Versuchen klar ergeben. Die Auftragungen zeigen aber auch deutlich, daß diese Abnahme mit einer Verlängerung über den Viererverband hinaus bereits wesentlich langsamer erfolgt. Für einen nach c zusammengestellten Verband ohne Schubboot wird er extrapoliert bei 6 Einzelprähmen etwa auf rd. 1 kg/t und bei einem Achter-Verband nur noch auf etwa 0,94 kg/t sinken. Bei den engen Wasserwegen der DDR sollte man sich zwecks Sicherheit des Transports im Maximum auf einen Dreierverband - zunächst auf den Tandemverband - weise bescheiden. Wichtig bleibt eine gute Fahrübersicht und Steuerfähigkeit. Trotzdem ergeben sich bereits Einsparungen an Investitionen und Betriebskosten durch Einsparung an Personal.

Dr. Gutsche gibt in der Zeitschrift VDI (1935 - Heft 39) den Schleppwiderstand eines Binnenschiffes von 780 m³ Deplacement und 600 t Tragfähigkeit bei 7 km/h Fahrgeschwindigkeit im Mittel-landkanal mit einem Querschnitt von 99 m² und 3,5 m Tiefe zu 980 kg an. In dem von der Forschungsanstalt untersuchten Kanal von 108 m² Querschnitt und 3,75 m Tiefe würde der Widerstand dieses Binnenschiffes auf rd. 925 kg zurückgehen. Daraus ergibt sich ein Einheitswiderstand von 1,19 kg je t Deplacement.

Vergleicht man hiermit die Ermittlungen von Herrn Dipl.-Ing. Heise mit dem aus Form B zusammengesetzten Tandemverband bei 7 km/h Fahrgeschwindigkeit und 1,55 kg je t Deplacement, so liegt dieser rd. 30% höher als das von Dr. Gutsche angegebene Binnenschiff. Der Unterschied wird kleiner werden, wenn man diese Einheitswiderstände auf 1 t Tragfähigkeit umrechnet. Immerhin soll man sich darüber klar werden, daß mit den hier untersuchten Prähmformen nicht so geringe Widerstände wie mit einer Amandaform erreicht werden können. Anzunehmen ist daher, daß die Motorgüterschiffe durch die Schubschiffahrt nicht beseitigt werden.

Die Ergebnisse der Versuche geben gute und wichtige Hinweise für den Aufbau von Schubverbänden und für eine Restaurierung der Binnenflotte. Nach eingehender Prüfung, wobei alle entsprechenden Umstände zu berücksichtigen sind, und nach Durchführung von Großversuchen muß das volkswirtschaftlich Beste zur Ausführung gelangen.

Wesentlich ist auch eine einwandfreie, genügend feste Kopplung der Schubverbandsteile untereinander.

Dr.-Ing. F. Gutsche:

Der Herr Vortragende erwähnte zu Beginn seines Berichtes einige Zahlenwerte aus dem Bereich der Sowjetunion, die zur Abschätzung der Vor- und Nachteile der Schubschiffahrt auch für uns von Interesse sein können. Er spricht davon, daß heute bereits 40 %, in einzelnen Gebieten bis zu 70 %, aller von der Binnenschiffahrt zu befördernden Güter durch Schubeinheiten transportiert würden. Es wäre nun sicher interessant zu erfahren, worauf sich diese Zahlenwerte beziehen, entweder auf die Binnenschiffahrt ohne eigenen Antrieb oder tatsächlich auf alle Binnenfrachtschiffe ohne und mit Antrieb.

Bei der Aufzählung der allgemein bekannten Vorzüge der einfach und billig zu bauenden und ohne Besatzung zu betreibenden Lasteinheiten setzt er für die von ihm genannten Leichter mit einem Völligkeitsgrad $\delta = 0,979$ ein Verhältnis Tragfähigkeit zu Wasserverdrängung im Werte von 0,9 ein; nach Veröffentlichungen aus westdeutschen Quellen ist mir für Leichter von etwa zweifacher Größe mit einem Völligkeitsgrad $\delta = 0,942$ ein Verhältnis 0,865 bekannt. Hat man den Einfluß des Völligkeitsgrades δ auf die Wirtschaftlichkeit untersucht, oder sind es lediglich Gesichtspunkte der einfachsten Bauweise, die zu den gegenüber westdeutschen Angaben höherem Völligkeitsgrad $\delta = 0,979$ geführt haben? Bei der Erörterung dieser Frage ist nämlich zu beachten, daß sich die Erhöhung der für eine bestimmte Fahrgeschwindigkeit erforderlichen Antriebsleistung auf dem Hauptanteil unserer Wasserstraßen mit gegenüber westdeutschen Wasserstraßen geringerem Wasserquerschnitt besonders stark bemerkbar macht. Es soll bei dieser Gelegenheit die Frage nicht unerwähnt bleiben, warum die Versuche auf einem Kanalquerschnitt $F = 107 \text{ m}^2$ durchgeführt wurden, während die Querschnitte unserer Wasserstraßen meines Wissens doch erheblich darunter liegen.

Bei der Entwicklung des Schubbootes möchte ich den Vortragenden auf die Erfahrungen der Schiffbau-Versuchsanstalt mit dem auf Schuschkin zurückgehenden Modell einer drehbaren Düse hinweisen, die vor allem beim Manövrieren und besonders beim Stoppen gewisse Vorzüge aufweist und darüber hinaus auch bauliche Vereinfachungen bietet.

Zur Wiedergabe der zahlreichen Meßwerte in Diagrammen, die die Ergebnisse auf die Großausführung umgerechnet zeigen, erscheint die Ergänzung der Widerstandswerte im Modellmaßstab in Tabellenform sehr erwünscht. Aus den spärlichen Angaben hierüber ist nicht zu ersehen, in welcher Art und Weise und unter welchen Annahmen die Versuchswerte auf die Großausführung umgerechnet sind. Daraus ergibt sich auch eine wesentliche Beeinträchtigung des Wertes der im Bericht enthaltenen Vergleichszahlen und die Unmöglichkeit, eine sachlich einwandfreie Beurteilung der Resultate mit Benutzung der Ergebnisse aus anderen Quellen durchzuführen. Die aus den Widerstandsmessungen mit den Lastsektionen einschl. des Schubbootes herausgelesene und vom Vortragenden vertretene Ansicht, es habe wenig Sinn, dem Endteil der Lastsektionen eines Schubverbandes eine strömungsgünstige Form zu geben, kann nicht völlig unwidersprochen bleiben. Einerseits zeigen die Versuche mit den vier Lastprämen für die Formation c gegenüber der Formation a immerhin noch eine kleine Widerstandsabnahme, andererseits aber dürfte die einfache rechteckige Heckform der

Formation a beim Abstoppen in der Talfahrt doch gewisse Nachteile für den Manövrierbetrieb mit sich bringen. Es müßte hierbei noch untersucht werden, wie weit die Vorschiffsform des Schubbootes durch Abrundung verbessert werden kann. Die vom Vortragenden aus den Resultaten herausgelesene Folgerung ist im wesentlichen durch diese Vorschiffsform bedingt.

In der Sowjetunion an Modellen und in Großausführung durchgeführte Versuche¹⁾ haben gezeigt, daß die Anteile der einzelnen hintereinander geschleppten Leichter am Gesamtwiderstand doch ganz anders verteilt sind, als wie es den Ausführungen des Vortragenden nach den Anschein haben könnte. Während nach Ansicht des Vortragenden - übrigens in Übereinstimmung mit der allgemein vertretenen Auffassung - der Anteil des ersten Lastkahnes der größte sei und die Anteile der nach ihm kommenden infolge des Einflusses des Totwassers des ersten Kahnes und seiner Grenzschicht kleiner seien, zeigen die Ergebnisse der erwähnten Versuche, daß es bei diesen gerade umgekehrt ist, und der erste Kahn im Schleppverband einen Widerstand aufweist, der nur etwa halb so groß ist wie der eines Einzelkahnes. Aus den mir zur Verfügung stehenden Unterlagen ist leider nicht zu ersehen, auf welchen Fahrwasserquerschnitten diese Untersuchungen durchgeführt wurden. Unter Bezugnahme auf das von mir im Schiffbaukalender bereits vor etwa 20 Jahren angegebene Berechnungsverfahren für den Widerstand von Binnenschiffen auf dem Kanalquerschnitt vermute ich allerdings, daß es sich gleichfalls um Versuche auf begrenztem Fahrwasser handelt.

Der Vergleich weiterer sowjetischer Versuche²⁾ mit in verschiedensten Formationen zusammengeschleppten Lastkähnen mit Versuchen von Themse-Lastkähnen, über die Griffith von der Inst. of Naval Architects im Jahre 1958 berichtet hat³⁾, und mit einigen Messungen, die in der Schiffbau-Versuchsanstalt mit einem Lastzug auf tiefem Wasser durchgeführt wurden, läßt darauf schließen, daß der Einfluß von Einkerbungen in der Bodenfläche, wie er sich etwa beim Viererverband "b" nach den Angaben des Vortragenden ergibt, die Größenordnung von etwa 20 % erreicht. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß sich dieser Einfluß durch Form - Änderung am hinteren Ende des Einzelprahmes doch noch etwas vermeiden läßt.

Doch dies sind alles Dinge, deren Erörterung den Rahmen eines Diskussionsbeitrages sprengen würden und vielmehr in die Behandlung des Themas durch den Herrn Vortragenden gehören. Vergleicht man die in Bild 17 dargestellten Ergebnisse für den Leistungsbedarf verschiedener Schubverbände mit den entsprechenden Widerstandszahlen, so ergeben sich zwischen beiden Darstellungen doch noch merkbliche Unterschiede. Es erscheint daher nicht ratsam, die Schlußfolgerungen aus den in manchen Punkten nicht ganz aussagekräftigen Widerstandsmes-

- 1) Stepanjuk J.I., Wehenizki, I.O - Retschnoj Transport 1958 Nr. 3, Seite 18, "Neue Angaben über den Fahrtwiderstand der Kähne in der Kielwasseranordnung."
- 2) vergl. etwa Apuchtin, P.A. - Woitkunski "Der Wasserwiderstand fahrender Schiffe", S. 250 u.f. Moskau-Leningrad 1953.
- 3) Griffith J.B. "Tug Power in Relation to the Towage of Swim-Ended Barges". Trans. Inst. of Naval Architects Vol. 100 (1958) S. 12.

sungen zu ziehen, sondern dafür die Propulsionsversuche zu benutzen. Diese Empfehlung erscheint mir umso gewichtiger, als bei dieser Gelegenheit auch Versuche in Rückwärtsfahrt angestellt werden können, aus deren Resultaten Schlußfolgerungen auf das Stoppvermögen von Schleppverbänden in der Flußschiffahrt bei Talfahrt gezogen werden können.

Prof. Dipl.-Ing. Hoffmann:

Zu dem von Herrn Heise durch Versuche ermittelten Schiffswiderstand sollen einige Ergänzungen theoretischer Art gemacht werden. Im wesentlichen setzt sich der Gesamtwiderstand eines Schubverbandes aus dem Reibungswiderstand

$W_R = \xi \cdot O \cdot v_r^{2,25}$ und dem Formwiderstand $W_F = k \cdot f \cdot v_r^{2,25}$ zusammen, wobei O die benetzte Schiffsoberfläche, f die eingetauchte Schiffsquerschnittsfläche, v_r die Relativgeschwindigkeit des Schiffes und ξ und k Beiwerte darstellen, die von der Rauigkeit der Schiffsoberfläche bzw. von der Form des Schiffsquerschnitts abhängig sind.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist der Gesamtwiderstand eines Schubverbandes nicht genügend aussagekräftig. Es muß vielmehr mit dem spezifischen Schiffswiderstand, d.h. mit dem Widerstand je Ladungstonne bzw. je Kubikmeter Wasser-
verdrängung gerechnet werden.

$$W_{RS} = \frac{(b + 2t) l}{b \cdot t \cdot l \cdot \delta} \cdot v_r^{2,25} = \frac{\xi}{\delta} \cdot \frac{(b + 2t)}{b \cdot t} \cdot v_r^{2,25}$$

$$W_{FS} = \frac{k \cdot b \cdot t}{b \cdot t \cdot l \cdot \delta} \cdot v_r^{2,25} = \frac{k}{\delta} \cdot \frac{1}{l} \cdot v_r^{2,25}$$

Aus diesen Beziehungen ist zu ersehen, daß der spezifische Reibungswiderstand von der Länge des Fahrzeuges unabhängig ist, während der Formwiderstand mit der Länge des Verbandes abnimmt. Es lassen sich daher keine festen Prozentanteile für den Reibungswiderstand und den Formwiderstand an der Summe der spezifischen Widerstände angeben. Sie ändern sich mit der Länge des Schubverbandes. Die Summe der spezifischen Widerstände nimmt also mit der Schubverbandslänge ab.

Die hohe Wirtschaftlichkeit der Schubschiffahrt liegt daher vor allem bei den langen Schubverbänden. Muß diese Länge vermindert werden, so geht auch ein Teil der Vorteile der Schubschiffahrt verloren. Die gegebenen Breiten- und Krümmungsverhältnisse unserer Wasserstraßen lassen aber nur beschränkte Längen starrer Schubverbände zu.

Wie aus den angeführten Formeln weiter zu entnehmen ist, wächst der Widerstand mit der $2 \frac{1}{2}$ fachen Potenz der Relativgeschwindigkeit. Die Relativgeschwindigkeit ist daher möglichst gering zu halten. In Schiffahrtskanälen ergibt sich die Relativgeschwindigkeit aus der Fahrgeschwindigkeit und der Rückstromgeschwindigkeit. Da die Fahrgeschwindigkeit nicht verringert werden soll, sind Maßnahmen zur Verringerung der Rückstromgeschwindigkeit zu ergreifen. Die Rückstromgeschwindigkeit ist bei gegebenem Querschnitt der Schub-

einheit in erster Linie von der Größe, aber auch von der Form des Kanalquerschnittes abhängig. Betrag der wasserbenetzte Querschnitt des Mittellandkanals zwischen Weser und Elbe nur 92 m², so erhalten heute Kanäle für das 1000-t-Schiff eine Querschnittsfläche von 117 m².

Die theoretisch mögliche Fahrgeschwindigkeit auf einzelnen Kanalstrecken läßt sich bei gegebenen Abmessungen rechnerisch erfassen. Nicht berechnen läßt sich die mögliche Fahrgeschwindigkeit nach navigatorischen Gesichtspunkten, wie z.B. die Fahrgeschwindigkeit, bei der ein gefahrloses Begegnen von Fahrzeugen im beschränkten Fahrwasser mit Rücksicht auf die Strömungskräfte noch möglich ist und wie sich diese Strömungskräfte auf den Schiffswiderstand auswirken. Darüber wissen wir noch recht wenig, und es ist zu empfehlen, weitere Untersuchungen in dieser Hinsicht anzustellen.

Obering. Dipl.-Wirtschaftler A. Dirks (schriftlich):

In der Diskussion stellte Professor Hoffmann von der Hochschule für Verkehrswesen in Dresden für den Formwiderstand die vereinfachte Formel auf

$$W_f = \frac{\xi \cdot B \cdot T \cdot v^{2,25}}{L \cdot B \cdot T \cdot \delta} = \frac{\xi \cdot B \cdot v^{2,25}}{L \cdot \delta} = \frac{\xi \cdot v^{2,25}}{L \cdot \delta} \sim \frac{1}{L} \quad (\text{kp} \cdot \text{m}^{-3})$$

und für den Reibungswiderstand

$$W_r = \frac{\xi \cdot (B+2T) \cdot L \cdot v^{2,25}}{L \cdot B \cdot T \cdot \delta} = \frac{\xi \cdot (B+2T) \cdot v^{2,25}}{B \cdot T \cdot \delta} \sim \frac{B+2T}{B \cdot T} \quad (\text{kp} \cdot \text{m}^{-3}),$$

woraus sich die Schlußfolgerung ergab, daß der Formwiderstand (bei gleichem v , ξ und δ) umgekehrt proportional der Länge ist, der Reibungswiderstand (bei gleichem v , ξ und δ) jedoch von der Länge unabhängig ist.

Dies erklärt sich aus dem Umstand, daß sich der Reibungswiderstand aus der Größe der benetzten Oberfläche ohne Rücksicht auf deren Form ergibt, während der Formwiderstand nur an den zugeschärften Schiffsenden entsteht und ein paralleles Mittelschiff keinen Formwiderstand hat.

Nun hat bei gleichem D eine Halbkugel mit $L = B = 2 \cdot T$ die kleinste Oberfläche, also den kleinsten Reibungswiderstand. Je mehr die Form des Unterwasserschiffes von dieser Halbkugel abweicht, um so größer wird die benetzte Oberfläche im Verhältnis zur Verdrängung und damit auch W_r .

Je mehr jedoch die Form des Unterwasserschiffes durch Vergrößerung von L unter Verkleinerung von B (und T) von der Halbkugelform abweicht, um so kleiner wird W_f . Je kleiner hierbei δ wird, um so kleiner wird ξ . Für gleiches D bei gleichem L wird B um so kleiner und das parallele Mittelschiff um so länger, je größer δ wird. Größeres δ bedeutet größeres ξ , kleineres B ($\cdot T$) kleineres W_f . Angenähert mögen sich die Größe von W_f bei großem δ und ξ und die Verkleinerung durch kleines B ($\cdot T$) die Waage halten. Für das optimale Verhältnis L/B ($\cdot T$) und δ ist also das Verhältnis von W_f zu W_r maßgebend und damit das Verhältnis von ξ zu δ .

Dr. jur. et rer. pol. H.-J. Pusch:

Das Thema "Schubverkehr" ist an sich bereits eine wissenschaftliche Tagung wert. Indessen ergeben sich - rein organisatorisch - Grenzen für unsere Diskussion, die es verbieten, allgemein und ausführlich über Vor- und Nachteile und Möglichkeiten und Grenzen des Schubverkehrs auf unseren Wasserstraßen speziell zu sprechen.

Wir reden nun seit vielen Jahren bereits über den Schubverkehr. Inzwischen sind auf allen Kontinenten Schubverbände gebaut und in Betrieb genommen worden. Man hat recht umfangreiche Erfahrungen mit dieser Betriebsweise gesammelt, nicht zuletzt auch in unserer befreundeten Nachbarrepublik Polen. Umso dankbarer kann man also dem Vortragenden dafür sein, daß er die wissenschaftliche Diskussion erneut angeregt hat. Herr Heise teilte uns im einzelnen sehr interessante Versuchsergebnisse der Forschungsanstalt mit, die im wesentlichen die bekannten Ergebnisse anderer systematischer Versuchsreihen bestätigen.

Zwei Fragen bleiben für mich offen, die von grundsätzlicher Bedeutung sind. Einmal hat Herr Heise ein Schubboot für seine Versuche verwendet, das nicht gebaut wird. Zur Information noch einmal, Herr Heise hat ein Schubboot mit zwei Festpropellern in Drehdüsen geschleppt, während ein Boot mit zwei Flügelradpropellern gebaut werden soll. Hier besteht m.E. ein Widerspruch, den man zurückführen könnte auf die programmatischen Ausführungen, die wohl alle von uns mit großer Befriedigung zur Kenntnis genommen haben, die Herr Omann der Tagung voranschickte, und unserer Praxis. Man kann auch nicht diesen Widerspruch bagatellisieren, indem man auf einen ähnlichen Widerstand im Nachstrom zwischen den beiden Schubbooten hinweist; denn es handelt sich hier nicht so sehr um eine Frage der Quantität, sondern vielmehr um eine Frage der Qualität - im philosophischen Sinne natürlich. Zweitens: Die Notwendigkeit einer exakten und quantitativen ökonomischen Begründung des Schubbetriebs ist allen Beteiligten bekannt, da überall dort, wo Schubverkehr bisher mit Erfolg eingeführt wurde, wesentlich günstigere fahrdynamische Verhältnisse vorlagen. Es hätte also m.E. doch nahe gelegen, parallel zur Schubformation Motorgüterschiff und Schleppzug zu schleppen, um auch für unsere speziellen Wasserstraßenverhältnisse kommensurable Meßwerte zu erhalten. Damit hätte man einen guten Ansatz gehabt, auch den ökonomischen Nutzeffekt der Schubeinheit zu ermitteln und der Vortrag selbst hätte noch mehr Würze erhalten können.

Schiffb.-Ing. Rappe (schriftlich):

Herr Dipl.-Ing. Heise hat uns durch seinen interessanten Vortrag über ein Teilgebiet der für die Einführung der Schubschiffahrt notwendigen Voruntersuchungen unterrichtet und uns gleichzeitig mitgeteilt, welche Modellversuche angestellt wurden, um zu einer hinsichtlich des Widerstandes optimalen Unterwasserform der Schubbehälter zu gelangen. Aus der Fülle der in dem Vortrag enthaltenen neuen Probleme möchte ich als Vertreter des Instituts für Schiffbau nur 2 Punkte herausgreifen, die mir wichtig erscheinen und die einer Ergänzung bedürfen.

Herr Dipl.-Ing. Heise hat uns im 1. Bild einen Überblick über die Binnenwasserstraßen der DDR gegeben, die mit Schubverbänden von 8,2 m Breite befahren werden können. Nun aber ist die Breite einer Schubeinheit nicht das einzige Kriterium für die Befahrbarkeit einer bestimmten Wasserstraße. Vielmehr spielen bei ausreichendem Tiefgang die Gesamtlänge bzw. die Anzahl der Lastkähne eine gewichtige Rolle, die von den Krümmungsradien und Schleusenabmessungen abhängig ist. Herr Prof. Hoffmann hat diesen Faktor bereits in seinem Diskussionsbeitrag erwähnt.

Es ist wohl von allgemeinem Interesse, wenn ich an den Vortragenden die Frage richte, ob außer dem im Jahre 1958 gefahrenen Großversuch mit einem Breslauer Maß-Selbstfahrer und einem Breslauer Maßkahn von Genthin nach Berlin, noch weitere Untersuchungen angestellt werden, die einen Überblick über die Befahrbarkeit aller Wasserstraßen in Abhängigkeit von der Länge einer Schubeinheit bei der Breite von 8,2 m geben. Ohne Einbeziehung der Länge verliert das gezeigte Bild leider an Aussagekraft.

Ein weiterer Punkt ist der Tragfähigkeitsvergleich zwischen Schleppkahn und Schubprahm, den uns der Vortragende in Bild 2 gezeigt hat. Leider ging aus dem Vortrag nicht hervor, welche Form des Schubprahmes bei diesem Vergleich als Grundlage angenommen ist. Herr Dr. Gutsche hat in seinem Diskussionsbeitrag bereits auf den sehr hoch angenommenen Völligkeitsgrad der Verdrängung des Schubprahmes hingewiesen.

Es erscheint ~~mir~~ jedenfalls als zu optimistisch, wenn der Vergleich einen Tragfähigkeitsgewinn der Schubprähme von 15 % gegenüber dem Schleppkahn ausweist.

Der Vortragende ist dabei von Voraussetzungen ausgegangen, die in der Praxis z.Z. nicht zu verwirklichen sind. So muß z.B. das Eigengewicht eines Schubprahmes der in Bild 2 angegebenen Hauptabmessungen mit nur 48 t eingesetzt werden, während das Techn. Projekt der Binnenschubeinheit, welches vor wenigen Wochen fertiggestellt wurde, für den Schubprahm mit einer nur um 2 m größeren Länge ein Eigengewicht von 75 t nachweist. Wenn man dem Projektanten auch unterstellt, daß das Gewicht um wenige Prozent hätte geringer sein können, so ist doch noch eine Differenz von etwa 25 t vorhanden, um die sich der Vortragende offenbar geirrt hat.

Legt man das sehr wahrscheinliche Gewicht des techn. Projektes dem angestellten Tragfähigkeitsvergleich zu Grunde, so schrumpft die Verbesserung auf nur die Hälfte, nämlich von 15 % auf 7,7 % zusammen.

Dieses Beispiel zeigt, daß man zur Ermittlung realer Vergleichsdaten sehr sorgfältige Annahmen treffen muß, die einer Nachprüfung standhalten, um dem unbefangenen Beobachter nicht ein falsches Bild von den Vorteilen des Schubverkehrs zu vermitteln.

Obering. W. Henschke:

Ich möchte den fachlichen Ausführungen und ökonomischen Betrachtungen im Augenblick nichts weiter hinzufügen. Ich möchte bloß einige Kleinigkeiten sagen, die mir mal von einem Kollegen erzählt worden sind, der lange Zeit die amerikanischen Verhältnisse studiert hat. Die Amerikaner fahren sehr lange Schubbootzüge bis zu 300 m Länge. Sie verwenden Prähme einfachster Bauart aus Holz und eine ganz einfache Kopplung (Holzpoller mit Draht verbunden). Das kann man sicherlich nicht als technischen Höchststand ansehen, aber es ist für die dortigen Verhältnisse vielleicht ein ökonomischer Höchststand, denn man hat mir erzählt, daß die Fahrzeit auf den Strömen sehr groß und die Verkehrsdichte außerordentlich gering ist - durchschnittlich soll alle 2 bis 3 Stunden ein Schubzug fahren. Die Ströme sind zwar unreguliert, aber das Signalwesen ist gut ausgebaut. Das Signalwesen wird von den amerikanischen Pioniereinheiten betreut, und es ist auch auf den Schubbooten sehr gut organisiert. Wenn der Verbandsführer ein Begegnungsmanöver erwartet, dann gibt er Ruf an alle, stellt fest, wer in der Gegend ist; rechnet sich aus, wer an der Begegnungsstelle am schnellsten sein kann, und wenn er es nicht ist, dann fährt er ans Ufer, bindet am nächsten Baum fest und wartet den Gegenkommer ab. Das kann man sich bei Fahrzeiten von mehreren Tagen durchaus leisten. Das können wir nicht. Bei uns müssen alle Fragen, die mit der Fahrdynamik und der Steuerfähigkeit zusammenhängen, sehr sorgfältig beachtet werden.

Dipl.-Ing. G. Heise - Schlußwort (schriftlich):

Die umfangreiche und lebhaftige Diskussion zeigt, daß das behandelte Thema von aktuellem Interesse ist und willkommenen Anlaß bot, über die eigentliche Thematik hinaus auch Fragen zu erörtern, die im Vortrag aus Zeitgründen nur am Rande erwähnt werden konnten. Ich darf daraus die Berechtigung ableiten, in meinem Schlußwort diesen Fragen breiteren Raum zu geben als demjenigen Teil in den Diskussionsbeiträgen, der konstruktiven Charakter hatte und deshalb für sich spricht.

Die eingangs angegebenen Zahlenwerte zur Charakterisierung des Umfangs und der Bedeutung des Schubverkehrs in der Sowjet-Union beziehen sich - wie m.E. aus der Formulierung der Aussage eindeutig hervorgeht - auf die Transportmenge, die insgesamt von der Binnenflotte befördert wurde, also ohne Differenzierung der Frachtschiffe in solche mit bzw. ohne Eigenantrieb. Bei der Bewertung dieser Zahlen sollte jedoch nicht übersehen werden, daß sie nur den Anteil der Schubschiffahrt an der auf den Wasserstraßen beförderten Transportmenge, nicht jedoch den Anteil an der Transportarbeit bzw. an der Transportleistung kennzeichnen. Bekanntlich werden Motorgüterschiffe mit Vorteil auf längeren Relationen eingesetzt, um ihre größere Schnelligkeit möglichst nutzbringend zur Geltung kommen zu lassen und um ein günstiges Verhältnis zwischen Transportleistung und Hafentiegezeit zu erhalten. Damit würde sich zwar eine höhere tonnenkilometrische Leistung pro Tragfähigkeitstonne beim Motorgüterschiff ergeben, der Wert der Schubschiffahrt für Transporte auf kürzeren Strecken jedoch nicht im geringsten gemindert werden.

Einige Verwirrung hat offensichtlich der Tragfähigkeitvergleich zwischen einem Großplauer-Maßkahn und einem Schubprahm-Tandemverband etwa gleicher Hauptabmessungen hervorgerufen. Die Gegenüberstellung hatte den Zweck, den Einfluß der Fahrzeuglänge auf die Tragfähigkeit an einem konkreten Beispiel herauszustellen und die Wahl des ungewöhnlich kleinen L/B der Prähme auch von dieser Seite her zu begründen. Für die zum Vergleich gewählte, bewußt materialsparend gehaltene Prahmausführung liegt eine exakte Gewichtsrechnung des (nicht zur Forschungsanstalt gehörenden) Projektanten vor, die sich im wesentlichen mit dem Ergebnis allgemeingültiger Untersuchungen über den Einfluß des Längen/Breiten-Verhältnisses auf das Rumpfstahlgewicht von Binnenschiffen deckt, die von mir - unabhängig vom Projektanten - bereits vor längerer Zeit durchgeführt worden sind. Es bestand deshalb kein Anlaß, für den Vergleich eine Prahm-Konstruktion mit einem Eigengewicht von 75 t zu wählen, die für die Fahrt auf Haff und Bodden berechnet und für die Fahrt auf unseren Strömen und Kanälen viel zu schwer und somit wenig geeignet ist. Auf jeden Fall lag mir die Absicht fern, durch diese Gegenüberstellung "dem unbefangenen Beobachter" ... ein falsches Bild von den Vorteilen des Schubverkehrs zu vermitteln".

Über die Maximallänge von Schubverbänden im Hinblick auf die Kriterien unserer Wasserstraßen dürften eigentlich Unklarheiten nicht mehr bestehen. Sie ergibt sich - in sinngemäßer Auslegung - aus den Bestimmungen der Binnenwasserstraßen-Verkehrsordnung. Für einen allround-Einsatz eignen sich in der Regel nur Tandem-Verbände, deren Länge und Breite die Abmessungen entsprechender Regelschiffe nicht überschreiten. Größere Verbände aus 8,2 breiten Schubprähmen kommen nur auf ganz bestimmten, von Fall zu Fall zu untersuchenden und festzulegenden Relationen des in Bild 1 gezeigten Fahrtgebietes in Frage. Von diesen Ausnahmefällen abgesehen muß der Schubbetrieb m.E. in erster Linie als Alternative zum Selbstfahrerbetrieb angesehen werden. Er erreicht diesem gegenüber ein Optimum an Arbeitsproduktivität jedoch nicht beim allround-Verkehr, sondern beim Pendelverkehr (kontinuierlicher Transportgutzulauf vorausgesetzt), und zwar dann, wenn einem Schubboot drei Satz Schubprähme zugeordnet werden, von denen je ein Satz sich jeweils in Beladung, in Fahrt und in Entladung befindet. Solcherart läßt sich bei geringstem Material- und Personalaufwand ein Transportablauf mit größtem Nutzeffekt unter Vermeidung von unnötigen Stillstandszeiten der Antriebsanlage während des Ladens und Löschens erreichen.

Wie am Schluß meiner Ausführungen nochmals betont wurde, war es in erster Linie Aufgabe der Untersuchungen, aus einer Reihe von Vorschlägen die Form für die später in Serie zu bauenden Schubprähme und die Formationsbildung zu ermitteln, die ein Optimum für die tonnenkilometrische Transportleistung ergibt. Unter diesem Gesichtspunkt erschien die Frage nach der Art des Schubbootes von sekundärer Bedeutung, und es wurde deshalb auf ein vorhandenes Schubbootmodell zurückgegriffen, das eine kurzfristige Inangriffnahme der Versuchsfahrten gestattete und eine direkte Vergleichsmöglichkeit der Ergebnisse mit den Ergebnissen früherer Versuche bot. Inzwischen ist die Absicht, das zu bauende Schubboot mit Flügelradantrieben auszurüsten, zugunsten des konventionellen Propellerantriebs in Drehdüsen

fallen gelassen worden. Es wurde also in dieser Hinsicht nichts versäumt. Die Form des Schubbootes ist weniger für den Fahrwiderstand des Schubverbandes, sondern vor allem für die Propulsionsbedingungen und die Manövriereigenschaften von Wichtigkeit.

Es ist im Hinblick auf die vorgenannte Zielsetzung der Untersuchungen, über die in dem Vortrag berichtet wurde, nicht ersichtlich, welchen entscheidenden Wert der in einem Diskussionsbeitrag geäußerte Wunsch nach Parallelversuchen mit Modellen von Motorgüterschiffen und Schleppzügen haben sollte, zumal für die herkömmlichen Transportmittel bereits zahlreiche Widerstandsergebnisse aus Modell- und Großversuchen vorliegen, die gegebenenfalls mit ausreichender Genauigkeit auf die hier vorgegebenen Versuchsbedingungen umgerechnet werden können.

Bevor ich mich nun spezifischen Widerstandsfragen zuwende, noch ein Wort zur Darstellung der Versuchsergebnisse. Es ist die Wiedergabe von Original-Meßwerten und damit die Möglichkeit vermißt worden, sie mit Modellversuchsergebnissen fremder Herkunft vergleichen zu können. Gerade die Vergleichbarkeit mit den Versuchsergebnissen anderer Institute, die sich ebenfalls mit Widerstandsuntersuchungen an Schubprähmen und Schubformationen befaßt haben, war aber einer der Gründe für die Wiedergabe der Ergebnisse in der gewählten Form, da sie von diesen Instituten in der Regel in entsprechender Weise mitgeteilt werden (z.B. Baier: "The Resistance of Barges and Flottillas" in Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers 1947, Bd. 55, oder Heuser: "Modellversuche mit starren Schubverbänden" in "Schiff und Hafen" 1960, Heft 5). Dessenungeachtet sind wir natürlich gern bereit, Interessenten jederzeit eine Einsichtnahme in die Original-Versuchsunterlagen zu gewähren.

Die Ergebnisse der Widerstandsversuche weisen für die untersuchten Prahmformen eindeutig aus, daß nicht der größere Volligkeitsgrad und damit die größere Tragfähigkeit, sondern die bessere Formgebung (unter Inkaufnahme einer geringeren Tragfähigkeit infolge eines kleineren δ) und damit die Möglichkeit einer höheren Fahrgeschwindigkeit bei vorgegebener Antriebsleistung wesentlich ist für die unter sonst gleichen Bedingungen erzielbare Transportleistung. Der Einfluß der Prahmform auf den Fahrwiderstand kommt natürlich bei kleinerem Kanalquerschnitt noch mehr zur Geltung.

Es ist von mir weder untersucht noch die Auffassung vertreten worden, daß dem ersten Fahrzeug in einem Fahrzeugverband der größte Anteil am Gesamtwiderstand zukommt. Auch aus anderen in Deutschland durchgeführten Widerstandsmessungen an Fahrzeugverbänden (z.B. aus den Widerstandsversuchen von Krey mit Schleppzügen aus 2 Kähnen und von Kempf mit Schleppzügen aus 4 Kähnen) kann eine solche, mit den erwähnten Ergebnissen von Widerstandsversuchen aus der Sowjet-Union in Widerspruch stehende Ansicht nicht abgeleitet werden. Während Kempf nur Angaben über die von ihm festgestellte Verringerung des Einheitswiderstands von 4 hintereinandergesetzten Kähnen gegenüber dem Einheitswiderstand eines Einzelkähnes macht, stellt Krey sogar ausdrücklich fest, daß sich gegenüber einem Einzelkahn der Widerstand des ersten Kahnens verringert und der des dahintergekoppelten zweiten Kahnens vergrößert. Am Rande sei

bei dieser Gelegenheit vermerkt, daß die Feststellungen von Krey und Kempf hinsichtlich der Verringerung des Einheitswiderstands von Fahrzeugverbänden prinzipiell völlig mit den von mir mitgeteilten Versuchsergebnissen übereinstimmen. Zahlenmäßige Abweichungen ergeben sich lediglich aus den unterschiedlichen Fahrzeugen und Versuchsbedingungen. Die Bedeutung der Fahrzeug- bzw. Verbandslänge für den Einheitswiderstand wurde in den Diskussionsbeiträgen u.a. auch durch analysierende Betrachtungen vereinfachter Näherungsformeln unterstrichen.

Auf weitere Einzelheiten aus den Diskussionsbeiträgen möchte ich nicht mehr eingehen, um das Schlußwort nicht ungebührlich auszudehnen. Ich bin überzeugt, daß die Diskussion jedem wertvolle Hinweise und Anregungen für seine eigenen Belange gebracht hat; dafür gebührt allen Diskussionsrednern besonderer Dank.