

SCHIFFBAUFORSCHUNG

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE MITTEILUNGEN

Herausgegeben vom Institut für Schiffbau, Rostock
und von der Technischen Fakultät der Universität Rostock



Ein Beitrag zum Problem des Katamaranwiderstandes

Mitteilung aus dem Institut für Entwerfen von Schiffen der Technischen Fakultät
an der Universität Rostock

Direktor: Prof. Dipl.-Ing. A. Krause

Mitteilung Reihe B Nr. 38

Von Dipl.-Ing. A. Schimke (IES) und Dr.-Ing. K. Puchstein (IS), Rostock

Am Institut für Entwerfen von Schiffen (IES) der Technischen Fakultät der Universität Rostock wurde im Auftrage und in Gemeinschaft mit dem Institut für Schiffbau Rostock (IS) eine Forschungs- und Entwicklungsarbeit durchgeführt, die sich mit der Anwendung des Katamaranprinzips für Fischereifahrzeuge beschäftigt [1] u. [2].

Im Rahmen dieser Arbeit wurden in der Schlepprinne der Schiffbau-Versuchsanstalt Berlin-Karlshorst Widerstandsschleppversuche in ruhigem und tiefem Wasser sowie Propulsions- und Seegangversuche mit Katamaran-Modellen durchgeführt. Allen Mitarbeitern der Schiffbau-Versuchsanstalt, die zum erfolgreichen Abschluß dieser Versuche beigetragen haben, sei an dieser Stelle der herzlichste Dank ausgesprochen.

1. Einleitung

Das Problem des Widerstandes von Katamaranen ist recht kompliziert und bis heute noch nicht so weit geklärt, daß diesbezüglich eindeutige Empfehlungen für den Entwurf eines derartigen Fahrzeuges gegeben werden könnten. Wenn auch der Widerstand bei Anwendung des Katamaranprinzips auf einen bestimmten dafür besonders geeigneten Schiffstyp in den meisten Fällen nicht von ausschlaggebender Bedeutung ist, so bleibt aber selbstverständlich die Notwendigkeit bestehen, den Gesamtwiderstand so klein wie möglich zu halten.

Es wäre bei der Kompliziertheit des Problems illusorisch, annehmen zu wollen, durch einige Widerstandsschleppversuche oder gar durch theoretische Betrachtungen zu einer ausgereiften Lösung gelangen zu können. Es wird vielmehr einer längeren, durch systematische Versuche und schrittweise gesammelte Erfahrungen gekennzeichneten Entwicklung bedürfen, um zu einer den jeweiligen Einsatzbedingungen des Katamarans gerecht werdenden optimalen Lösung des Widerstandsproblems zu gelangen.

Daß die interessante Frage des Katamaranwiderstandes von vielen Seiten aufgegriffen wird, zeigt die ständig zunehmende Zahl der Publikationen zu diesem Thema. Dabei werden neben allgemein theoretischen Betrachtungen [3] [4] u. [5] Ergebnisse von Widerstandsschleppversuchen mit Katamaran-Modellen mitgeteilt [6] [7] [8] u. [9] sowie Vergleiche von theoretischen Berechnungen mit Experimenten dargestellt [10] u. [11].

Aus diesen Veröffentlichungen von Ergebnissen theoretischer und experimenteller Natur lassen sich nur bedingt allgemeingültige Schlußfolgerungen ziehen und kaum Erkenntnisse für den praktischen Entwurf eines konkreten Fahrzeuges ableiten, da insbesondere die Modellversuche von den unterschiedlichsten Gesichtspunkten her aufgebaut worden sind und eine systematische Auswertung nahezu unmöglich machen.

Es zeigt sich auch, daß über die Größe der einzelnen Anteile des Gesamtwiderstandes keine Klarheit besteht. Vermutlich werden sich diesbezüglich gegenüber Einrumpfschiffen starke Abweichungen ergeben. Es soll hier über Schleppversuche mit Katamaran-Modellen berichtet werden, die den Einfluß der Spantform und des Völligkeitsgrades der Verdrängung auf den Widerstand charakterisieren.

2. Widerstandsanteile

Bei der Betrachtung des Widerstandes eines Katamarans treten gegenüber einem Einrumpfschiff besondere Gesichtspunkte auf. Die einzelnen Rümpfe des Katamarans unterliegen zunächst den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie ein Einrumpfschiff, zeigen aber als Folge gegenseitiger Beeinflussung veränderte Widerstandsverhältnisse [12]. Bei einem Katamaran mit endlichem Rumpfabstand tritt ein Zusatzwiderstand (gemessen als Gesamtwiderstand des Katamarans bei dem betrachteten endlichen Rumpfabstand minus Gesamtwiderstand der in unendlichem Abstand voneinander angeordneten Einzelrümpfe) auf, der im allgemeinen positiv, unter bestimmten Bedingungen jedoch auch negativ, d. h. es tritt ein zusätzlicher Vortrieb auf, sein kann.

Bei einem Katamaran ergeben sich folgende Widerstandsanteile:

- Reibungswiderstand der Einzelrümpfe;
- Druckwiderstand der Einzelrümpfe;
- Wellenwiderstand der Einzelrümpfe;
- Zusatzwiderstand (mit Anteilen verschiedenen Ursprungs);
- ferner:
- Luftwiderstand;
- Steuerwiderstand;
- Widerstand der Anhänge;
- Widerstandszuwachs infolge Bewuchses;
- Widerstandszuwachs infolge Seegang.

Es ergibt sich der Fragenkomplex, ob und in welcher Weise die einzelnen Widerstandsanteile beim Katamaran gegenüber einem Einrumpfschiff verändert sind, wie sie sich gegenseitig beeinflussen und wodurch besonders der Zusatzwiderstand hervorgerufen wird.

2.1. Reibungswiderstand

Der Reibungswiderstand eines Schwimmkörpers ist direkt abhängig von der benetzten Oberfläche desselben. Beim Katamaran tritt durch „Aufspaltung“ der Gesamtverdrängung in zwei Rumpfe eine Vergrößerung der Oberfläche des Unterwasserkörpers auf. Die Größe der Oberflächenzunahme ist von der Spantform, dem B/T-Verhältnis und dem Völligkeitsgrad des Unterwasserschiffes abhängig.

Die in Tafel 1 dargestellten geometrischen Grundformen sollen eine erste Orientierung zu diesem Problem ermöglichen. Die dort als „Ausgangskörper“ dargestellten Figuren sollen den jeweiligen Hauptspant eines Schwimmkörpers darstellen, wobei die Ausdehnung in Längsrichtung auf Grund der für die hier angestellten Betrachtungen angenommenen Identität aller Spantflächen mit der Hauptspantfläche ohne Einfluß ist. In der Rubrik „volumengleiche Katamarankörper“ ist für Nr. 1 bis 4 der jeweilige aus dem Ausgangskörper durch Halbierung der Breite hervorgehende Katamaranhauptspant dargestellt, wobei sich eine zwischen 50 % und 80 % liegende Oberflächenvergrößerung ergibt. Für Nr. 5 bis 7 haben die volumengleichen Katamarankörper jeweils die gleiche geometrische Form wie die Ausgangskörper und sind nur entsprechend verkleinert, wobei die Summe der Breiten der Katamaranrümpfe größer als die Breite des jeweiligen Ausgangskörpers ist.

Tafel 1. Geometrische Grundformen

Nr.	Ausgangskörper	$\frac{B}{T}$	Volumengleiche Katamarankörper	$\frac{B}{T}$	Vergrößer. d. Oberfl.
1		2,0		1,12	50 %
2		2,0		1,0	50 %
3		1,0		0,5	66,7 %
4		1,16		0,58	80 %
5		2,0		2,0	41,4 %
6		1,0		1,0	41,4 %
7		1,16		1,16	41,4 %
8		2,0		1,20	55 %

Für diese Art der Aufspaltung des Einrumpfschiffes in zwei Katamaranrümpfe ergibt sich eine konstante Oberflächenvergrößerung von 41,4 %. Unter Nr. 8 ist die Aufspaltung eines Halbkreises in zwei unter dem Gesichtspunkt der geringstmöglichen Gesamtbreite der Katamarankörper bezüglich des Verhältnisses „Umfang zu Fläche“ optimal getauchte Kreise dargestellt, wobei sich eine Oberflächenzunahme von 55 % ergibt.

Wie aus [12] hervorgeht, dürfte für reale Katamarankörper symmetrischer Bauart mit einer mindestens 50 %igen Vergrößerung der Oberfläche gegenüber einem ungeteilten Ausgangskörper zu rechnen sein.

2.2. Druckwiderstand

Der Druckwiderstand ist hauptsächlich von der Völligkeit des Hauptspantes und den Ablösungserscheinungen der Grenzschicht im Hinterschiff abhängig. Durch die hier gegebene Möglichkeit der schlanken Gestaltung der Hinterschiffslinien dürfte dieser Widerstandsanteil klein zu halten sein.

2.3. Wellenwiderstand

Der Wellenwiderstand wird hauptsächlich beeinflusst durch die Schlankheit der Schwimmwasserlinie. Er ist etwa proportional dem Quadrat der Schiffsbreite anzunehmen und würde bei Aufspaltung des Einrumpfschiffes in zwei Katamaranrümpfe mit halber Breite bei diesen demnach insgesamt nur etwa halb so groß ausfallen. Da der Schlankheit der Katamaranrümpfe von seiten der Stabilität keine Grenzen gezogen sind, dürfte es möglich sein, den Wellenwiderstand bei Doppelrumpfschiffen wesentlich zu verringern.

2.4. Zusatzwiderstand

Die im Wasser bewegten Katamaranrümpfe erzeugen ein Druck- und Wirbelfeld, das mit zunehmendem Abstand von den Rümpfen abklingt. Befinden sich die Katamaranrümpfe in einem solchen Abstand voneinander, daß diese Eigenstörssysteme sich noch gegenseitig beeinflussen können, dann tritt ein Zusatzwiderstand auf, der sich vermutlich aus Anteilen verschiedenen Ursprungs zusammensetzt:

- Die gegenseitige Beeinflussung der Wellensysteme der einzelnen Rümpfe. Durch Überlagerung der Wellenzüge des einen mit denen des anderen Rumpfes kann sowohl ein positiver als auch ein negativer Zusatzwiderstandsanteil hervorgerufen werden. Da die von den einzelnen Rümpfen ausgehenden Wellensysteme die größte wirksame räumliche Ausdehnung besitzen und zwei Rümpfe sich daher schon auf relativ große Entfernungen beeinflussen, stellt dieser letztlich auf dem Wellenwiderstand der Einzelrümpfe basierende Anteil nach Eggers [10] den größten Posten am Zusatzwiderstand dar. Die gegenseitige Beeinflussung wächst naturgemäß mit verringertem Rumpfabstand und ist abhängig von

- der Größe des Wellenwiderstandes der Einzelrümpfe,
- dem Verhältnis von Rumpfabstand zu Rumpflänge (bei konstanter Rumpflänge also vom Rumpfabstand direkt),
- den von den Einzelrümpfen ausgehenden Wellensystemen und deren Schärfe und Ausprägtheit allgemein.

- Der erhöhte Reibungswiderstand. Die durch die Querschnittsverengung zwischen den Katamaranrümpfen hervorgerufene starke Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers bewirkt eine Vergrößerung des Reibungswiderstandes an den Innenseiten der Katamaranrümpfe. Dieser Zusatzwiderstandsanteil hängt direkt von der Geschwindigkeit

keit des Wassers zwischen den Rümpfen ab und verliert daher mit wachsendem Rumpfabstand an Bedeutung.

- Ein aus dem Druckwiderstand resultierender Zusatzwiderstandsanteil dürfte bei den relativ schlanken Katamaranrümpfen trotz der unter Punkt 2 erwähnten Übergeschwindigkeiten nicht auftreten oder zumindest ohne Bedeutung bleiben, da mit Ablösungserscheinungen nicht zu rechnen ist.

2.5. Einschätzung

Da beim Katamaran prinzipiell eine Vergrößerung des Reibungswiderstandes auftritt, muß — um den Katamaran widerstandsmäßig nicht von vornherein hoffnungslos zu benachteiligen — versucht werden, diese Widerstandsvergrößerung durch andere Maßnahmen auszugleichen. Auf Grund der ausreichenden Stabilität des Katamarans ist es möglich, die Rümpfe schlank zu bauen und dadurch den Wellen- und Druckwiderstand klein zu halten. Dadurch wären die durch sie bedingten Zusatzwiderstandsanteile auch klein. Es ist bekannt, daß der Anteil des Formwiderstandes am Gesamtwiderstand bei Einrumpfschiffen für höhere F_n -Zahlen 60 % und mehr betragen kann.

Die „Aufspaltung“ eines Einrumpfschiffes in zwei Katamaranrümpfe halber Breite würde unter Beachtung des unter Punkt 2.3. Gesagten eine Verringerung des Gesamtwiderstandes um etwa $0,5 \cdot 60\% = 30\%$ bewirken. Eine 50%ige Vergrößerung der benetzten Oberfläche würde einen Zuwachs um etwa $0,5 \cdot 40\% = 20\%$ bringen. In dem hier gebrachten Beispiel könnte also der Zusatzwiderstand etwa 10% betragen, um Widerstandsgleichheit mit einem Einrumpfschiff gleicher Verdrängung zu erhalten.

Aus diesem Sachverhalt geht hervor, daß das Hauptanwendungsgebiet des Katamarans vom Widerstand her bei möglichst hohen F_n -Zahlen liegen muß, für die der Reibungswiderstandsanteil relativ klein ist. In [7] wird der im Bild 1 dargestellte Anwendungsbereich angegeben, der allerdings nur als grobe Abgrenzung zu werten ist.

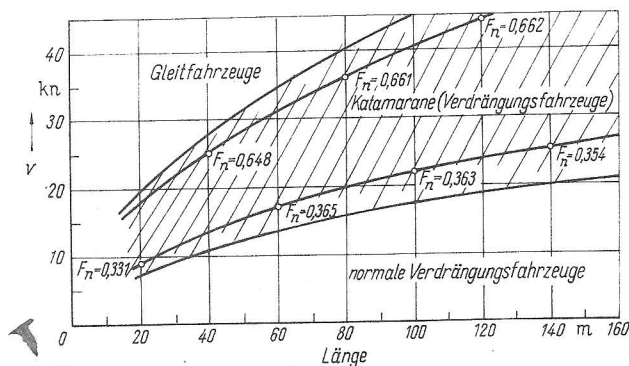


Bild 1. Anwendungsbereich für Katamarane (entnommen aus [7])

Aus dem Gesagten geht hervor, daß die Rumpfform unter dem Gesichtspunkt eines minimalen Formwiderstandes bei ertragbar vergrößertem Reibungswiderstand gewählt werden muß. Es ist ungünstig, den Reibungswiderstand auf Kosten des Formwiderstandes klein halten zu wollen, da eben der Formwiderstand in dem interessanten F_n -Bereich den größeren Anteil am Gesamtwiderstand ausmacht und außerdem der Zusatzwiderstand hauptsächlich durch den Wellenwiderstand bestimmt wird.

Durch günstige Wahl der z. Z. in ihrer Größe und Wirkungsweise für praktische Katamaranentwürfe noch nicht restlos geklärten Einflußfaktoren auf das Zu-

standekommen des Zusatzwiderstandes muß versucht werden, den Gesamtwiderstand des Katamaranes zu verringern. Dabei dürfte generell anzustreben sein, einen möglichst kleinen positiven Zusatzwiderstand zu erreichen, anstatt die Bestrebungen auf das Zustandekommen eines auf sehr enge Geschwindigkeitsbereiche beschränkten und damit für die praktische Verwendung weniger bedeutungsvollen negativen Zusatzwiderstandes zu richten.

3. Schleppversuchsprogramm

Es ist bei Zugrundelegung des unter Punkt 2 Gesagten zu vermuten, daß durch eine entsprechende spezifische Formgebung der Rümpfe eine entscheidende Beeinflussung des Widerstandes erreicht werden kann. Dabei wurden im Rahmen dieser Arbeit keine unsymmetrischen Rumpfformen untersucht, obwohl einige Gesichtspunkte für eine derartige Bauweise sprechen (s. dazu Punkt 6).

Es wurde hier davon ausgegangen, Spantformen zu untersuchen, die die Voraussetzungen für einen geringen Wellenwiderstand bei gleichzeitig möglichst großer Verdrängung bringen. Wird von den auch bei Einrumpfschiffen üblichen Spantformen ausgegangen, dann erscheint die Wahl der im Bild 2 dargestellten U-Spantform günstig. Da jedoch die Katamaranrümpfe ohne Rücksicht auf die Querstabilität mit extrem schlanken Konstruktionswasserlinien versehen werden können, wird als zweite Variante ein auf der Grundlage der unter Nr. 8 der Tafel 1 gezeigten Form entwickelter S-Spanttyp untersucht, wie in Bild 3 wiedergegeben. Wesentlich sind bei der S-Spantform zu erreichende hohe Volligkeitsgrad der Verdrängung und die symmetrischen Zustromverhältnisse des Propellers.

Das realisierte Schleppversuchsprogramm beinhaltet die widerstandsmäßige Untersuchung der in Tafel 2 gekennzeichneten fünf Modellvarianten in glattem und tiefem Wasser. Zur Modellbezeichnung wird neben der grundsätzlichen Spantformcharakterisierung „U“ oder „S“ die Ziffernfolge des δ -Wertes verwendet. Tafel 3 bringt eine Zusammenstellung aller Schleppfahrten. Es ist ersichtlich, daß von den Typen U-50 und S-59 nur Einzelrümpfe, von den Typen U-55, S-65 und S-71 Einzelrümpfe und Katamaran-Modelle geschleppt worden sind. Ursprünglich war vorgesehen, einen Einzelrumpf U-60 mit in das Programm aufzunehmen und von dem Typ S-71 nur einen Einzelrumpf zu untersuchen. Hier nicht näher zu diskutierende Umstände ließen die ersichtlichen Abweichungen entstehen.

Das ursprüngliche Programm sollte einen Quervergleich zwischen der U- und S-Spantform in den einzelnen δ -Stufen bei jeweils gleicher Verdrängung und ein Erkennen des Einflusses von δ für jede der beiden Spantformen (beachte jeweils konstantes B_R/T -Verhältnis!) gestatten. Das realisierte Versuchsprogramm macht den Quervergleich in der obersten δ -Stufe unmöglich und verschiebt ansonsten den Schwerpunkt der Betrachtungen auf die S-Spantform.

Bei der Festlegung der Rumpfproportionen und Volligkeitsgrade wurde versucht, einen Kompromiß zwischen den widerstandsseitigen Erfordernissen und den Problemen der praktischen Verwendbarkeit als Fischereifahrzeug zu schließen. Es ist einzusehen, daß die mit diesem kleinen Programm zu gewinnenden Erkenntnisse im wesentlichen punktförmiger Natur bleiben müssen, andererseits jedoch ein Kennenlernen der Problematik für weitere Untersuchungen gestatten. Dabei ist es durchaus denkbar, daß bei der Festlegung der Modell-Hauptparameter künftiger Schleppversuche von anderen Gesichtspunkten ausgegangen wird [13].

Mit den zur Verfügung stehenden Katamaran-Modellen wurden weiterhin Propulsionsversuche mit Propeller in

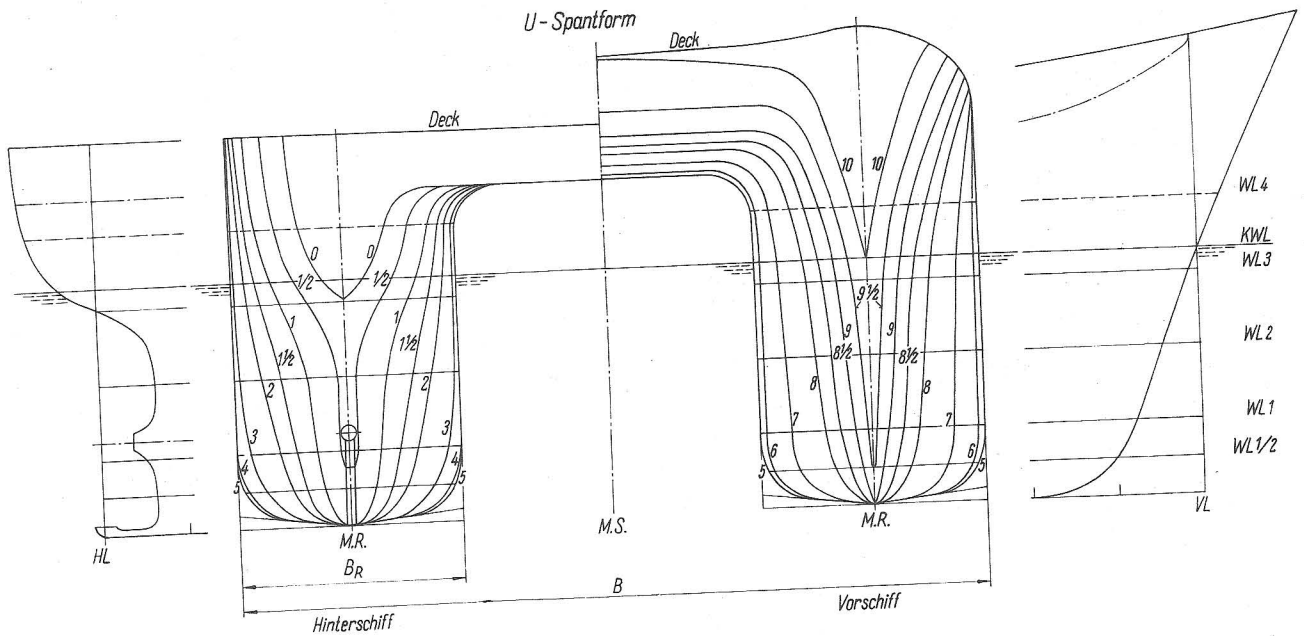


Bild 2. U-Spantform

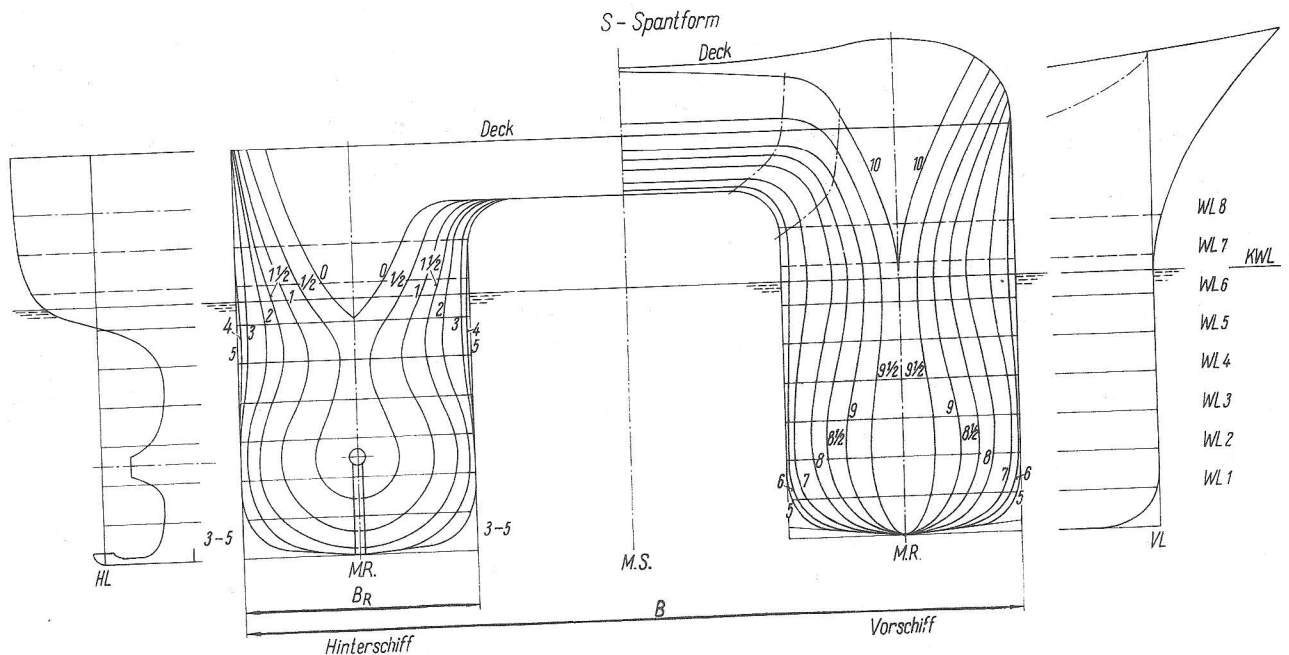


Bild 3. S-Spantform

Ruderdüse sowie Seegangsversuche mit regelmäßigen Wellen von vorn durchgeführt, auf die hier jedoch nicht eingegangen werden soll.

Um eine Orientierung über die Strömungsverhältnisse an Katamaranrümpfen zu erhalten, wurden bei Typ S-65 Geschwindigkeitsmessungen mit Hilfe von Darcy-Staurohren durchgeführt. Bild 4 zeigt schematisch die hierbei vorgesehene Meßstellenanordnung. Gemessen wurde an allen 18 Meßstellen bei einem Rumpfabstand von $Q = 2,4 B_R$, bei drei weiteren Rumpfabständen wurden nur die in der Symmetrieebene liegenden Meßstellen berücksichtigt. Alle Geschwindigkeitsmessungen erfolgten bei 3 Geschwindigkeitsstufen. An einigen Meßpunkten wurde zusätzlich die Meßtiefe variiert. Die Durchführung der Geschwindigkeitsmessungen erfolgte so, daß eine gegenseitige Beeinflussung der Meßstellen nicht auftreten konnte.

Die Bilder 5 und 6 zeigen die aus Holz in üblicher Schichtenbauweise gefertigten und mit einem Schutzanstrich versehenen Rumpfe der Typen U-55 bzw. S-65, wobei in Bild 6 am Vorschiff die für die Seegangsversuche benötigte Verbindungsplattform zu erkennen ist.

4. Meßergebnisse

In diesem Abschnitt sollen die Ergebnisse der Widerstands- und Geschwindigkeitsmessungen als Faktormaterial ohne Diskussion angegeben werden. Eine vergleichende Betrachtung und Auswertung der Meßergebnisse soll unter Punkt 6 erfolgen.

4.1. Widerstandsmessungen

In den Bildern 7 und 8 sind die gemessenen Modellwiderstände der Einzelrümpfe U-50 und S-59 dargestellt. Es ist ersichtlich, daß eine strakende Verbindung der Meßpunkte ohne Schwierigkeiten möglich ist.

Tafel 2. Modelldaten

	U-50	U-55	S-59	S-65	S-71
L _L [m]	3,067	3,067	3,067	3,067	3,067
B _R [m]	0,473	0,473	0,400	0,400	0,400
T [m]	0,433	0,434	0,437	0,440	0,440
∇ [m³]	0,319	0,351	0,319	0,355	0,383
a [—]	0,660	0,697	0,606	0,657	0,719
β [—]	0,954	0,953	0,957	0,959	0,963
δ [—]	0,500	0,550	0,589	0,654	0,706
φ [—]	0,525	0,577	0,616	0,682	0,733
∇ ⊙ L [%L]	-3,07	-2,91	-2,46	-1,72	-0,78
Ω [m²]	3,00	3,03	3,00	3,227	3,306

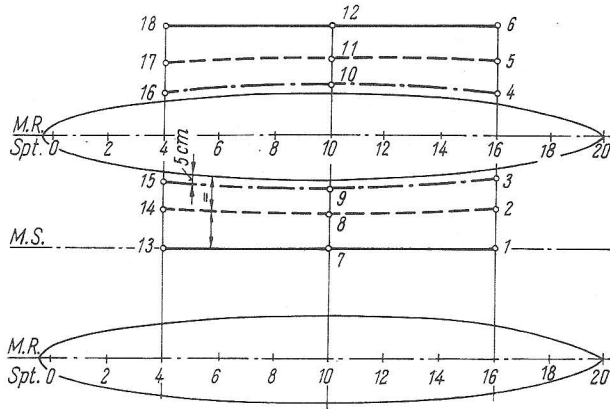


Bild 4. Messstellenanordnung
(Meßtiefe normal t = 176 mm)

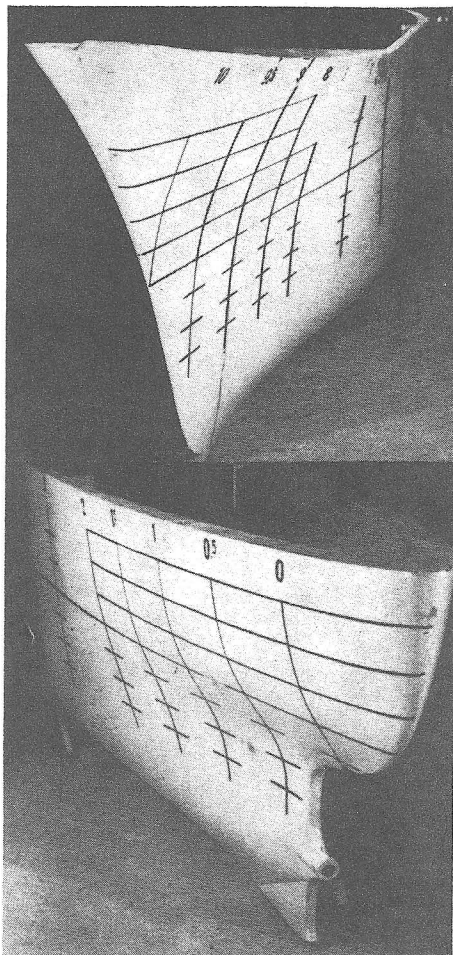


Bild 5. Modell U-55

Tafel 3. Versuchsprogramm

Nr.	Typ	∇ [dm³]	T [m]	Q/B _R	F _N -Bereich
1	U-50	318,5	0,433	—	0,24—0,36
2	U-50	262,3	0,373	—	0,29—0,36
3	U-50	212,3	0,295	—	0,24—0,36
4	U-55	351,2	0,434	—	0,24—0,35
5	U-55	2 × 351,2	0,434	2,05	0,24—0,35
6	U-55	2 × 351,2	0,434	2,43	0,09—0,35
7	U-55	2 × 351,2	0,434	2,73	0,24—0,35
8	U-55	2 × 351,2	0,434	3,02	0,24—0,35
9	U-55	2 × 234,2	0,317	2,43	0,24—0,35
10	S-59	318,5	0,437	—	0,24—0,35
11	S-59	212,3	0,290	—	0,24—0,35
12	S-65	355,0	0,440	—	0,24—0,36
13	S-65	2 × 355,0	0,440	2,00	0,24—0,35
14	S-65	2 × 355,0	0,440	2,39	0,14—0,36
15	S-65	2 × 355,0	0,440	2,67	0,24—0,35
16	S-65	2 × 355,0	0,440	3,00	0,24—0,36
17	S-65	2 × 236,7	0,289	2,39	0,24—0,35
18	S-71	383,2	0,440	—	0,24—0,35
19	S-71	255,5	0,290	—	0,26—0,35
20	S-71	2 × 383,2	0,440	2,0	0,24—0,35
21	S-71	2 × 383,2	0,440	2,4	0,22—0,35
22	S-71	2 × 383,2	0,440	2,7	0,24—0,35
23	S-71	2 × 383,2	0,440	3,0	0,24—0,35
24	S-71	2 × 255,5	0,290	2,4	0,24—0,35

Tafel 4. Geschwindigkeitsmeßwerte

Typ S-65

∇ = 2 × 0,351 m³

T = 0,434 m

Meß- stelle	Meß- tiefe [mm]	Q/B _R	v _∞ = 1,4 m/s		v _∞ = 1,7 m/s		v _∞ = 2,0 m/s	
			Δv [m/s]	Δv [%]	Δv [m/s]	Δv [%]	Δv [m/s]	Δv [%]
1	176	2,4	+0,105	+ 7,4	-0,235	-13,8	-0,098	- 4,9
2			+0,085	+ 6,0	-0,145	- 8,5	-0,238	-11,9
3			+0,095	+ 6,7	-0,125	- 7,3	-0,268	-13,4
4			+0,025	+ 1,8	+0,035	+ 2,1	+0,052	+ 2,6
5			+0,064	+ 4,6	+0,040	+ 2,4	+0,025	+ 1,3
6			+0,234	+16,9	-0,180	-10,6	-0,125	- 6,3
7			+0,174	+12,5	+0,400	+23,5	+0,495	+24,8
8			+0,214	+15,5	+0,390	+22,9	+0,525	+26,3
9			+0,194	+13,8	+0,469	+27,7	+0,543	+27,5
10			+0,104	+ 7,4	+0,209	+12,4	+0,323	+16,4
11			+0,094	+ 6,7	+0,199	+11,8	+0,323	+16,4
12			+0,054	+ 3,8	+0,129	+ 7,6	+0,222	+11,3
13			+0,100	+ 7,1	+0,066	+ 3,9	+0,222	+11,2
14			+0,120	+ 8,5	+0,076	+ 4,5	+0,192	+ 9,7
15			+0,090	+ 6,4	+0,076	+ 4,5	+0,102	+ 5,2
16			-0,080	- 5,7	-0,074	- 4,4	+0,182	+ 9,2
17			+0,076	+ 5,4	0	0	+0,270	+13,6
18			+0,076	+ 5,4	+0,020	+ 1,2	+0,220	+11,1
13	246	2,4	+0,276	+19,7	+0,100	+ 5,9	+0,350	+17,5
14			+0,256	+18,2	+0,120	+ 7,1	+0,310	+15,6
1	176	2,0	+0,071	+ 5,1	+0,020	+ 1,2	-0,113	- 5,6
7			+0,195	+13,9	+0,380	+22,5	+0,490	+24,5
13			-0,009	- 0,6	0	0	+0,037	+ 1,8
1	176	2,7	+0,055	+ 3,9	-0,118	- 7,0	-0,160	- 8,0
7			+0,137	+ 9,7	+0,366	+21,6	+0,499	+25,2
13			+0,095	+ 6,7	+0,032	+ 1,9	+0,140	+ 7,0
1	176	3,0	+0,045	+ 3,2	-0,028	- 1,7	-0,126	- 6,4
7			+0,145	+10,4	+0,334	+19,8	+0,469	+23,7
13			+0,085	+ 6,1	+0,032	+ 1,9	+0,094	+ 4,8

Die Bilder 9, 10 und 11 zeigen die Modellwiderstände der Katamarane U-55, S-65 und S-71. In diesen Bildern ist die Streuung der Meßpunkte etwas stärker, doch scheinen die eingezeichneten Kurvenzüge gerechtfertigt zu sein. Die mit Q = ∞ markierten Kurven stellen den verdoppelten Widerstand der jeweiligen Einzelrümpfe dar.

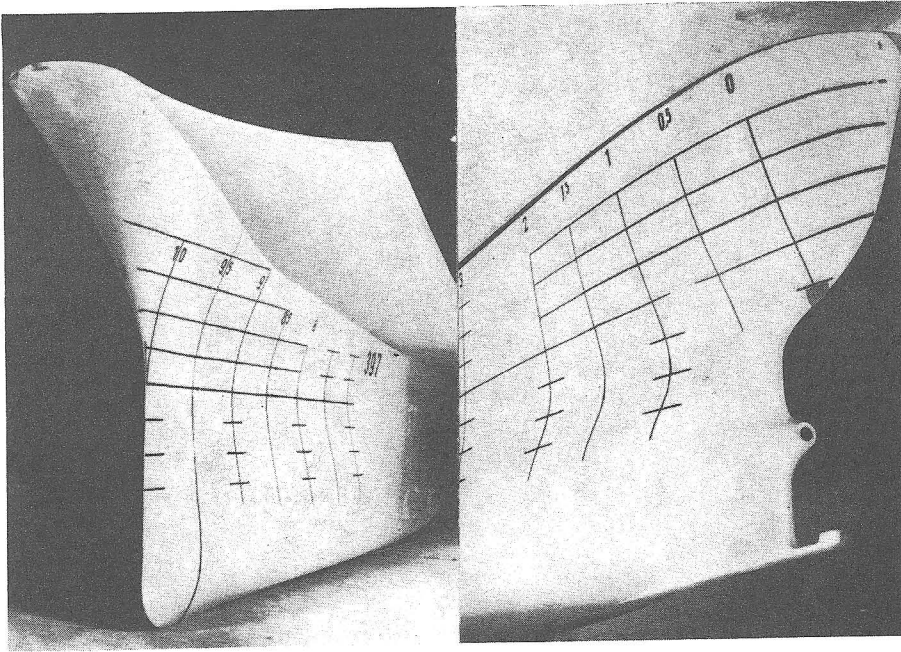


Bild 6
Modell S-65

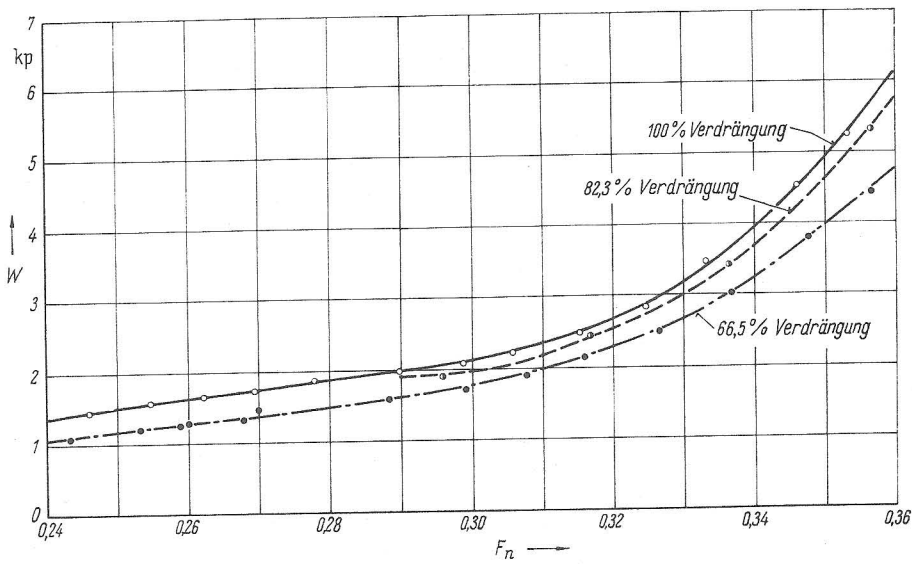


Bild 7
Modellwiderstand Einzelrumpf U-50

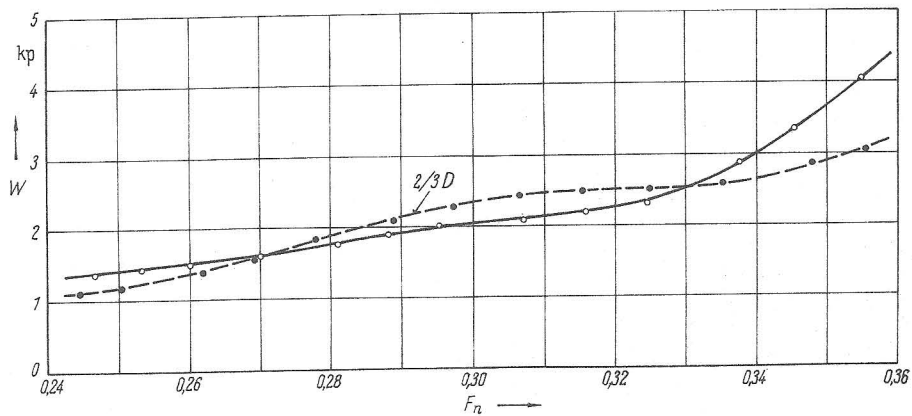


Bild 8
Modellwiderstand Einzelrumpf S-59

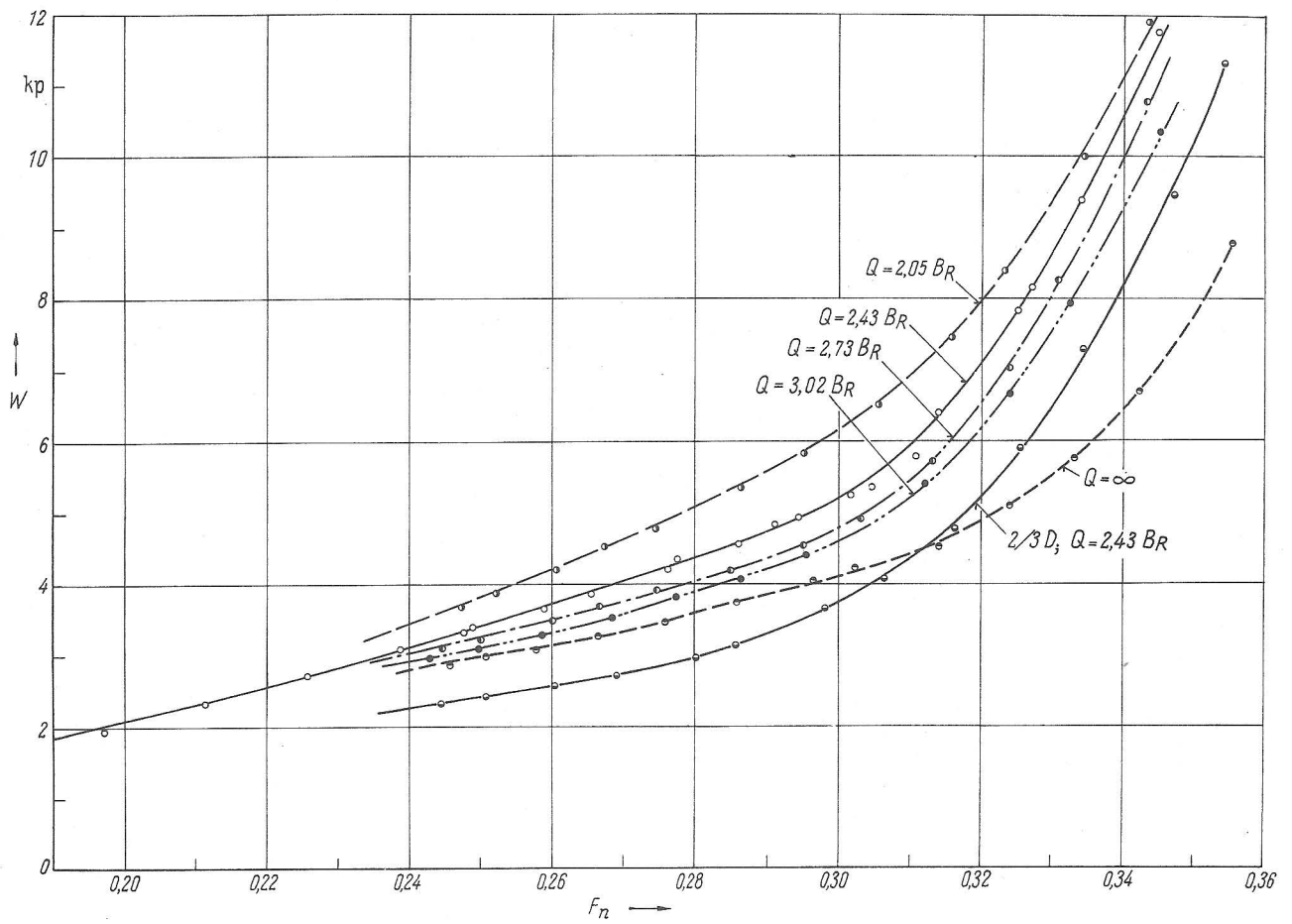


Bild 9. Modellwiderstand Katamaran U-55

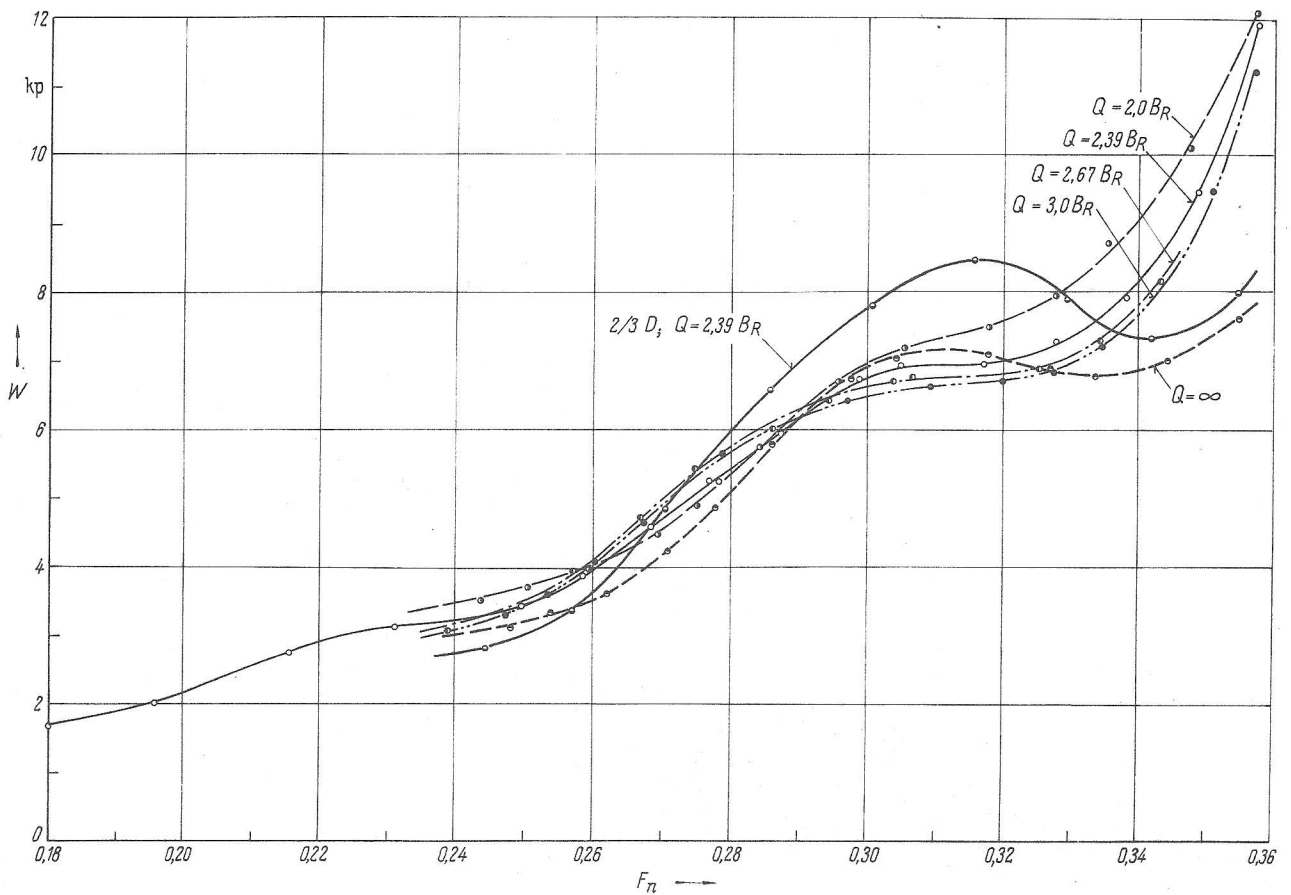


Bild 10. Modellwiderstand Katamaran S-65

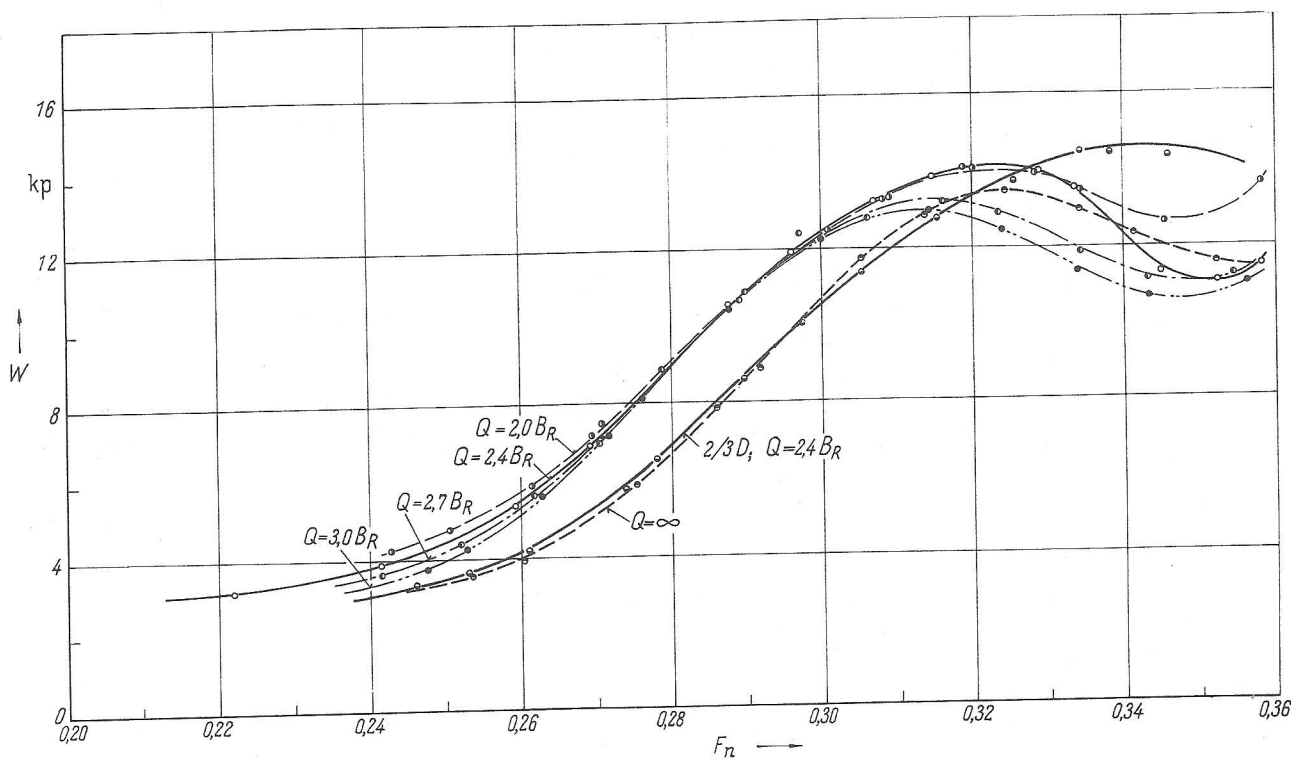


Bild 11. Modellwiderstand Katamaran S-71

4.2. Geschwindigkeitsmessungen

Die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen sind in Tafel 4 zusammengestellt. Es schien nicht gerechtfertigt, die jeweils nur vorhandenen drei Meßpunkte in Längs- oder Querrichtung zu einer Kurve zu verbinden, da ein so zustande kommender Geschwindigkeitsverlauf in keiner Weise bewiesen wäre.

5. Umrechnung auf die Großausführung

Soll der gemessene Modellwiderstand auf die Großausführung eines Katamarans umgerechnet werden, dann erheben sich gegen die sonst im schiffbaulichen Widerstandsschleppversuchswesen übliche Handhabung der Froudeschen Umrechnungsmethode Bedenken. Es ist aus den Versuchen offensichtlich, daß zwischen den Katamaranrümpfen erhebliche Übergeschwindigkeiten und Wasserspiegelabsenkungen auftreten, die zwangsläufig den Reibungswiderstand beeinflussen müssen. Da z. Z. bis auf die hier dargestellten bescheidenen Ansätze von Geschwindigkeitsmessungen auf diesem Gebiet kein Material vorliegt, kann über die Größe der Beeinflussung des Reibungswiderstandes und evtl. auch des Druckwiderstandes nichts ausgesagt werden.

Es ergibt sich somit prinzipiell die Aufgabe, Untersuchungen über die Größe der am Gesamtwiderstand des Katamarans beteiligten Anteile vorzunehmen und deren Beeinflussung durch die Rumpffparameter festzustellen. Bei Lösung dieser gewiß recht schwierigen Aufgabe dürfte nicht nur eine größere Sicherheit bei der Vorausbestimmung des Widerstandes der Großausführung erreichbar sein, sondern es würden sich auch für den Projektanten eines Katamarans klare Verhältnisse ergeben.

Ein nicht unwesentlicher Schritt auf diesem Wege wäre getan, wenn Klarheit über die Umströmungsverhältnisse bei Katamaranrümpfen erreicht würde. Zur Durchführung derartiger Untersuchungen scheint die Elektroanalogiemethode geeignet zu sein, zumal mit ihrer Hilfe mehrere Rumpfvarianten relativ ökonomisch untersucht werden können. Es ist klar, daß die Aussagekraft

derartiger Untersuchungen im elektrolytischen Trog begrenzt ist und allein keinesfalls eine Klärung der oben aufgerissenen prinzipiellen Aufgabe ermöglichen kann.

Es wird zur gegebenen Zeit über gegenwärtig laufende Untersuchungen über den zähigkeitsbedingten Anteil am Gesamtwiderstand von Katamaranen berichtet werden.

In Ermangelung ausreichender Kenntnisse über die Größe des Einflusses der Geschwindigkeitsverteilung und der erheblichen Wasserspiegelabsenkung wurden alle Umrechnungen der gemessenen Modellwiderstände bzw. Aufspaltungen in Reibungs- und Formanteile nach der üblichen Froudeschen Methode vorgenommen.

6. Auswertung

Es kann festgestellt werden, daß beim Katamaran die Schiffsförm selbst einen bedeutenden Einfluß auf die Größe des Widerstandes und auf den Verlauf der Widerstandskurven ausübt. Das geht aus den Unterschieden in den Widerstandskurven der in den wesentlichen Hauptabmessungen und in der Verdrängung gleichen U- und S-Spantform hervor.

Bild 12 zeigt die bei gleicher Verdrängung direkt vergleichbaren Widerstandskurven von Katamaran U-55 und S-65. Es ist zu erkennen, daß die S-Spantform in diesem Falle bei einem schiffbaulich zu vertretenden Rumpfabstand von $Q = 2,4 B_R$ bis $2,7 B_R$ ungefähr ab $F_n = 0,32$ einen geringeren Widerstand als die U-Spantform besitzt. In Bild 13 werden alle drei geschleppten Katamarane über die Gleitziffer W_F/D bei einem Rumpfabstand von $Q = 2,7 B_R$ verglichen. Daraus geht deutlich hervor, daß Typ S-71 wahrscheinlich auf Grund des zu hohen Völligkeitsgrades der Verdrängung einen außerhalb jeder Diskussion stehenden hohen Widerstand aufweist.

Es kann weiterhin festgestellt werden, daß der Rumpfabstand bei allen hier untersuchten Katamaranen einen deutlichen Einfluß besitzt. Für die U-Spantform läßt sich eine relativ kontinuierliche Abnahme des Wider-

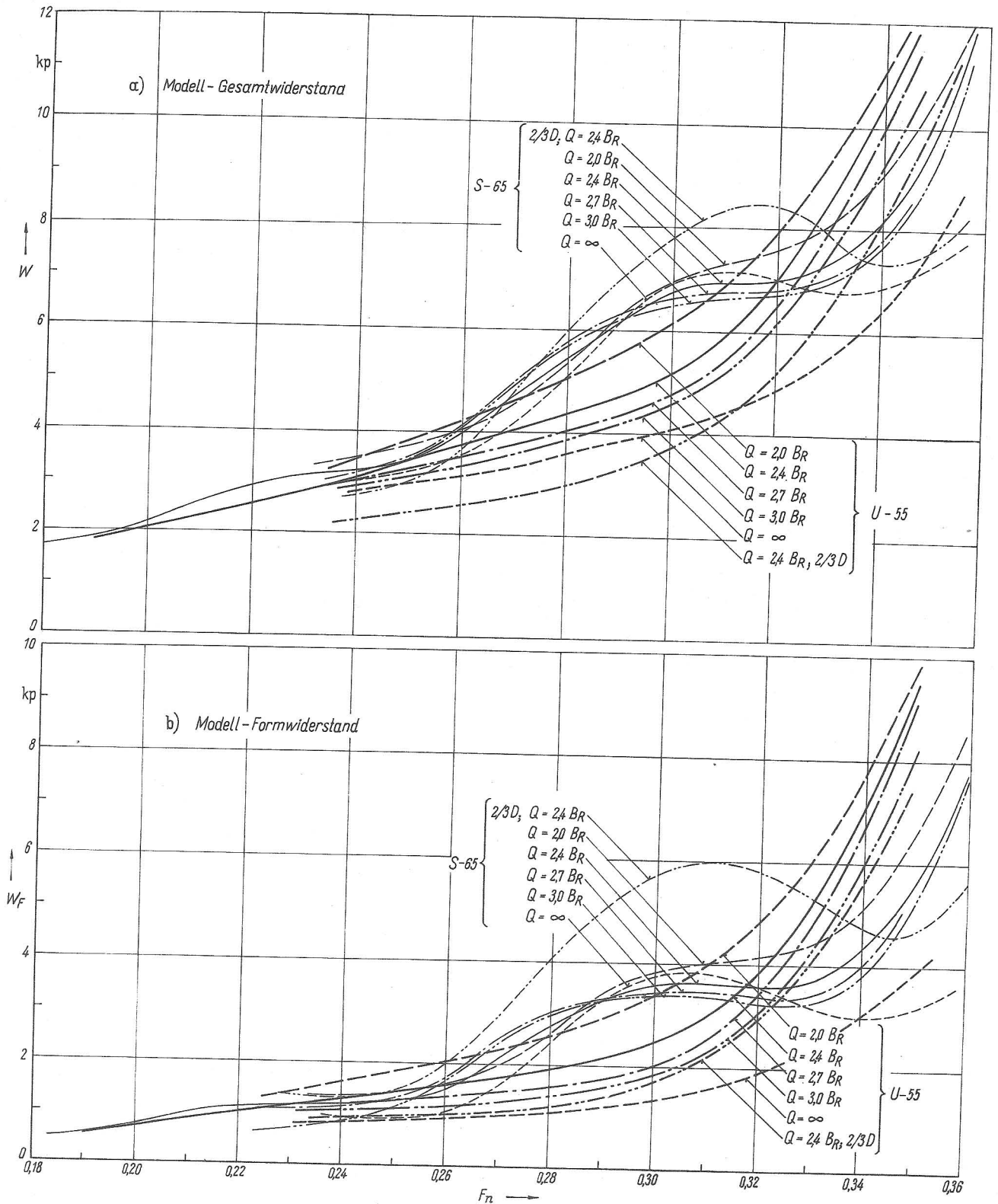


Bild 12. Vergleich Katamaran U-55 mit S-65

standes bei allen Geschwindigkeitsstufen mit wachsendem Rumpfabstand feststellen, wie aus Bild 14 zu ersehen ist. Die Bilder 15 und 16 zeigen, daß diese Erscheinung bei den Katamarantypen S-65 und S-71 nicht immer vorhanden ist, sondern bei einigen Geschwindigkeitsstufen entgegengesetzte oder wechselnde Tendenzen zu verzeichnen sind.

Die Versuche lassen das Auftreten eines Zusatzwiderstandes deutlich erkennen. Bild 17 stellt den prozent-

tualen Gesamt-Zusatzwiderstand des Katamaran-Modells U-55 dar. Es ist zu sehen, daß dieser stets positiv ist. Die Bilder 18 und 19 zeigen das Entsprechende für die Katamarane S-65 und S-71. Hierbei zeigt sich deutlich das Auftreten eines negativen Zusatzwiderstandes, der für S-65 maximal 8,5%, für S-71 etwa 13% beim größten untersuchten Rumpfabstand beträgt. In Bild 20 sind die auf das Displacement bezogenen Formanteile des Zusatzwiderstandes für alle drei Katamarane

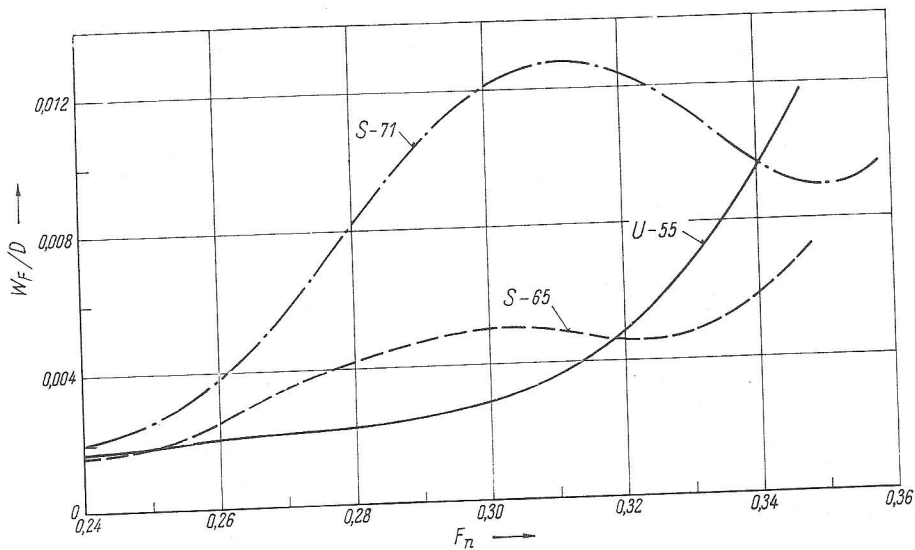


Bild 13
 W_F/D -Vergleich aller Katamarane
 $(Q = 2,7 BR)$

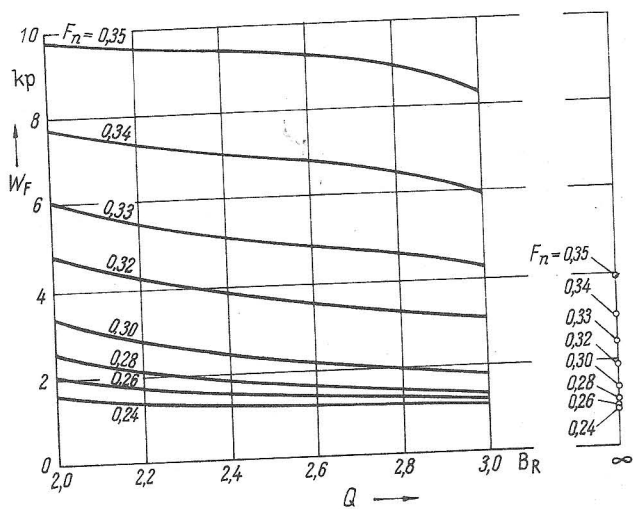


Bild 14. Einfluß des Rumpfabstandes bei Katamaran U-55

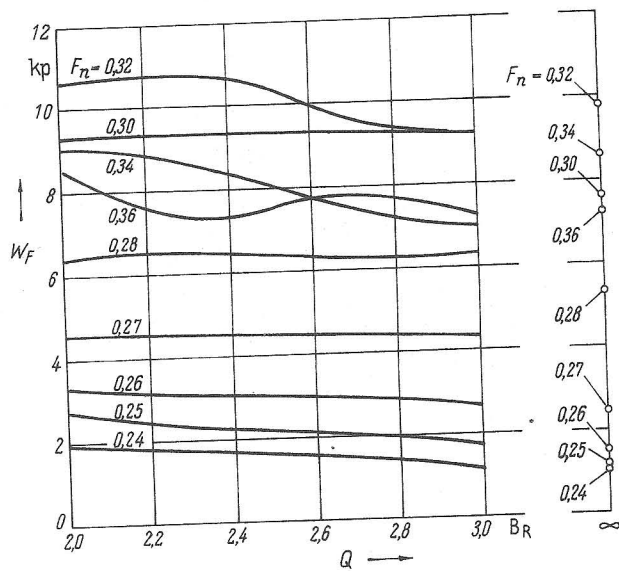


Bild 16. Einfluß des Rumpfabstandes bei Katamaran S-71

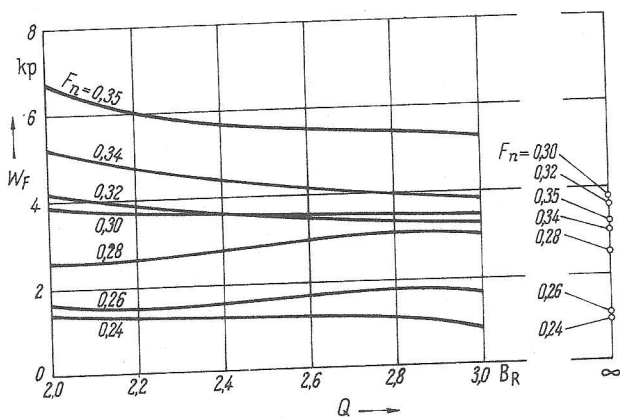


Bild 15. Einfluß des Rumpfabstandes bei Katamaran S-65

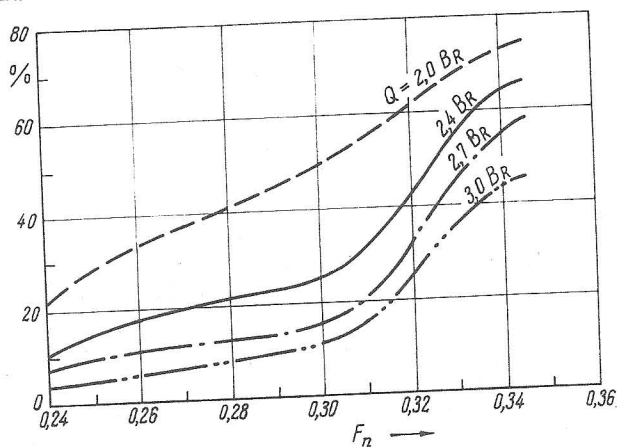


Bild 17. Gesamt-Zusatzwiderstand des Katamaran-Modells U-55

bei $Q = 2,7 BR$ dargestellt. Es muß hier an die unter Punkt 5 gemachten Ausführungen bezüglich der Widerstandsanteile erinnert werden, da durch den evtl. zu kleinen Reibungswiderstandsabzug der Form-Zusatzwiderstandsanteil stark verfälscht sein kann. Ein direkter Vergleich der Widerstandskurven der Einzelrumpfe U-50 und S-59 ist in Bild 21 gegeben, während

Bild 22 den Vergleich aller Einzelrumpfe über die Gleit-ziffer W_F/D bringt, da unterschiedliche Verdrängungen vorhanden sind. Es ist festzustellen, daß die Kurve für Typ U-50 über der für Typ U-55 und beide über der für Typ S-59 liegen. Das dürfte seine Ursache in dem für Typ U-50 und auch U-55 zu klein gewählten prismatischen Koeffizienten φ haben.

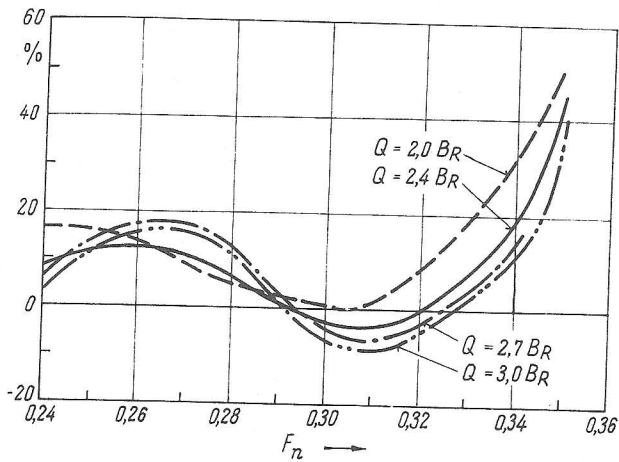


Bild 18. Gesamt-Zusatzwiderstand des Katamaran-Modells S-65

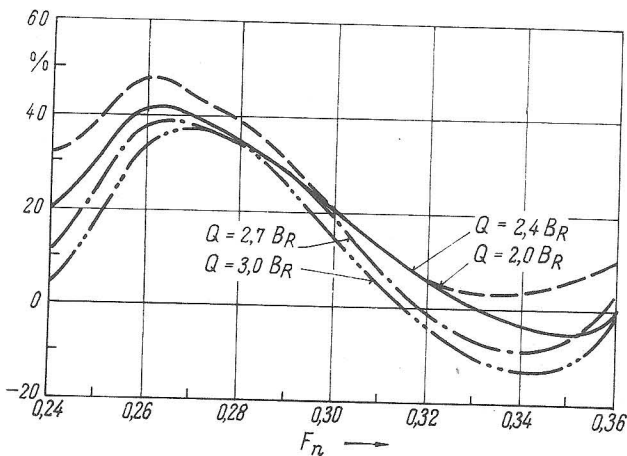


Bild 19. Gesamt-Zusatzwiderstand des Katamaran-Modells S-71

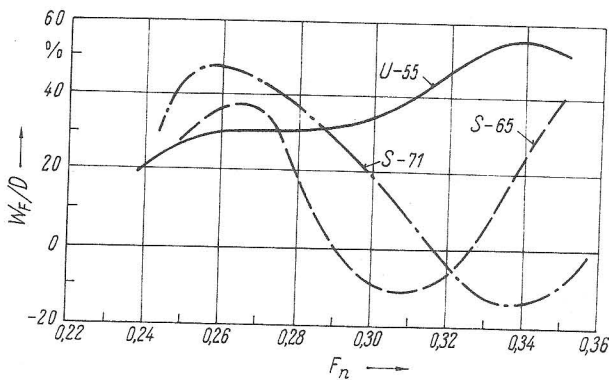


Bild 20. W_F/D -Vergleich des Zusatzwiderstandes aller Katamarane ($Q = 2.7 B_R$)

Bild 23 bringt die auf eine Großausführung umgerechneten Widerstandswerte.

Die Bilder 24 und 25 zeigen die Katamaran-Modelle U-55 und S-65 während des Schlepversuches bei einer Froudeschen Zahl von etwa 0,35. Es ist festzustellen, daß die an den Außenseiten der Katamaranrümpfe auftretenden Wellenbildungen für diese relativ hohen F_n -Werte durchaus als gut zu bewerten sind.

Eine wesentlich ungünstigere Erscheinung zeigte sich im Bereich zwischen den Rümpfen. Dort trat, ausgehend von den sich im Hinterschiffsbereich überlagernden Heckwellensystemen beider Rümpfe, eine Schwallbildung auf, die im Bild 26 für Typ U-55 dargestellt wird. Untersuchungen von Friedrichs [14] zeigen mit

großer Sicherheit, daß diese Erscheinung nicht auf Ablösung im Bereich des Hinterschiffes zurückzuführen ist, sondern ihre Ursache in der Interferenz beider Heckwellensysteme hat. Diese Schwallbildung bei den hier untersuchten Katamaran-Modellen zeigt große Ähnlichkeit mit der bei Gerinneströmungen bekannten Deckwalzenbildung, die dort beim Wechsel vom schießenden in den strömenden Fließzustand auftritt und an das Überschreiten einer kritischen Grenzgeschwindigkeit sowie das Unterschreiten einer bestimmten Grenztiefe gebunden ist. Ein derartiger Zusammenhang konnte für diese Erscheinung bei den Katamaranrümpfen nicht festgestellt werden [14].

Die bei den Schlepversuchen beobachtete Schwallbildung ist mit einer starken Widerstandszunahme verbunden. Beim Katamaran-Modell U-55 tritt der starke Anstieg des Widerstandes etwa ab $F_n = 0,32$ auf (vgl. Bild 9), eben ab der Geschwindigkeitsstufe, bei der die Schwallbildung einsetzt und sich bis zu den höchsten untersuchten Geschwindigkeiten ($F_n \approx 0,35$) verstärkt zeigt. Ein mit diesem Modell gefahrener Progressivversuch, der ungefähr bei $F_n = 0,5$ infolge zu starker Wellenbildung abgebrochen werden mußte, zeigte, daß die Schwallbildung auch bis dahin in voller Stärke bestehen bleibt. Bei den S-Spantypen war eine sinngemäß etwa den Widerstandskurven (vgl. Bild 10 und 11) entsprechende Intensität der Schwallbildung festzustellen, wobei in den Bereichen der relativen Minima der Kurven eine Abschwächung oder sogar ein Verschwinden des Schwall zu verzeichnen war.

Ohne eine genauere Erklärung über diese beobachtete widerstandsmäßig ungünstige Schwallbildung abgeben zu können, drängt sich der Schluß auf, nach Möglichkeit jegliche gegenseitige Beeinflussung der Katamaranrümpfe zu vermeiden. Dies könnte in gewissem Grade durch eine unsymmetrische Bauweise erreicht werden. Die Innenseiten der Rümpfe müßten gerade oder mit möglichst geringer Krümmung gebaut werden. Dadurch würden im Katamaranpalt nur geringe Druckstörungen und somit auch kaum Wellensysteme entstehen, die sich folglich auch nicht zu dem hier beschriebenen Schwall überlagern könnten. Der Einfluß einer derartig nahezu ungestörten Strömung zwischen den Katamaranrümpfen auf den Reibungswiderstand wäre sicher auch nur günstig.

Die mit einer unsymmetrischen Form verbundenen stärkeren Krümmungen der Außenseiten dürften sich bei der relativ großen Schlankheit der Katamaranrümpfe kaum ungünstig auswirken. Es ist klar, daß bei einer derartigen Bauweise allerdings grundsätzlich auf das Zustandekommen eines negativen Zusatzwiderstandes verzichtet werden muß.

Bei weiterer Verfolgung dieser Richtung müßten natürlich umfangreiche Untersuchungen bezüglich der grundsätzlichen Spantform, des Maßes der zweckmäßigen Abweichung von der symmetrischen Bauweise und besonders der Ausbildung des Vor- und Hinterschiffbereiches angestellt werden. In die gleiche Richtung weisende Gedanken sind von Friedrichs [14] dargelegt worden und dürften auch beim Bau eines amerikanischen Bohr-Katamarans [15] mit unsymmetrischen Rümpfen zugrunde gelegen haben.

Ein Vergleich der mit beiden Spantformen erzielten Widerstandsergebnisse läßt folgende Feststellungen treffen:

1. Die S-Spantform ruft ausgeprägtere Interferenzeffekte der Wellensysteme hervor als die U-Spantform. Das ist sowohl bei den Einzelrümpfen als auch bei den Katamaran-Modellen zu erkennen. Dadurch ist auch das Zustandekommen eines negativen Zusatzwiderstandes beim S-Spanttyp zu erklären, der bei der U-Spantform fehlt.

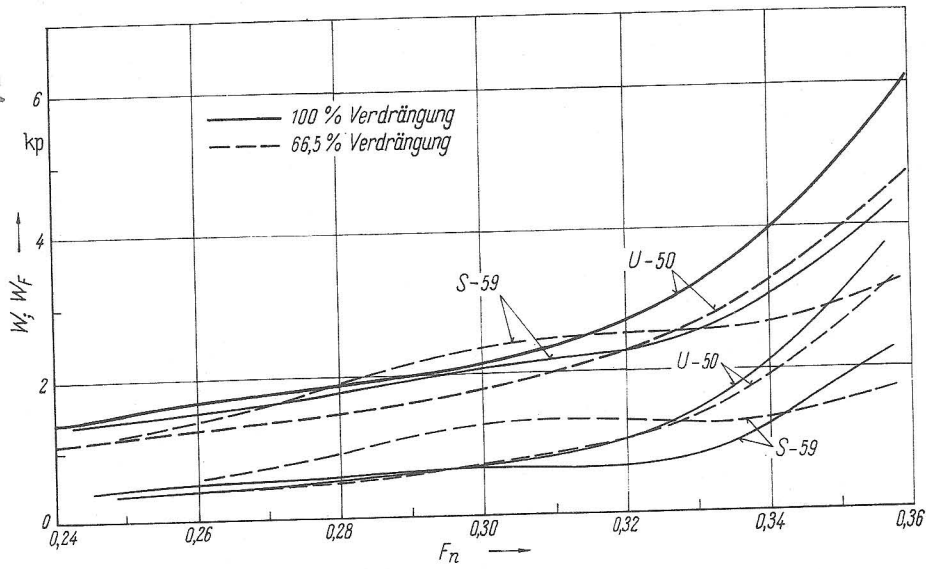


Bild 21
Vergleich Einzelrumpf U-50 mit S-59

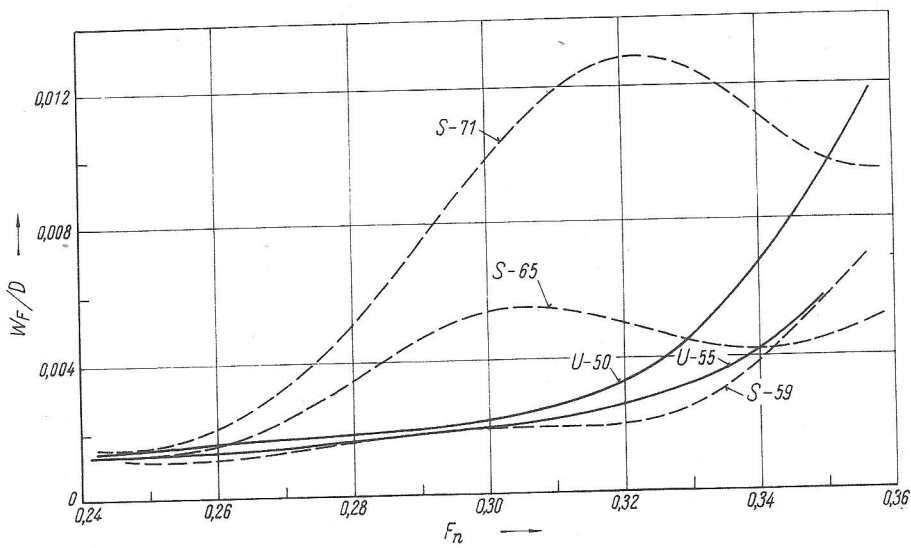


Bild 22
Vergleich der W_F/D -Kurven
aller Einzelrumpfe

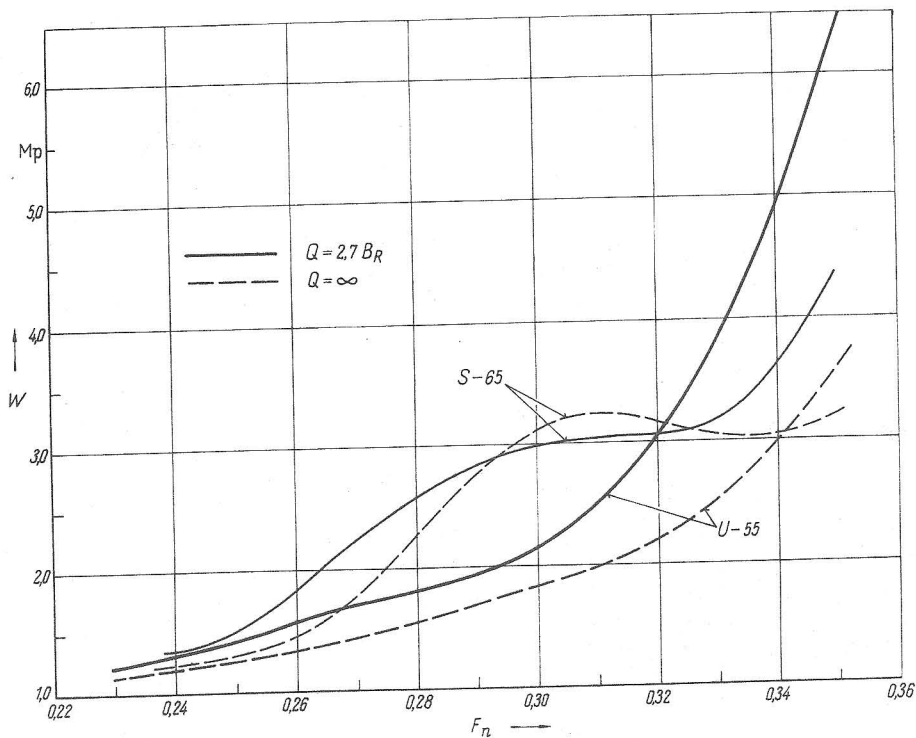


Bild 23
Gesamtwidestand bei
Displacement $D = 2 \times 185 \text{ t}$

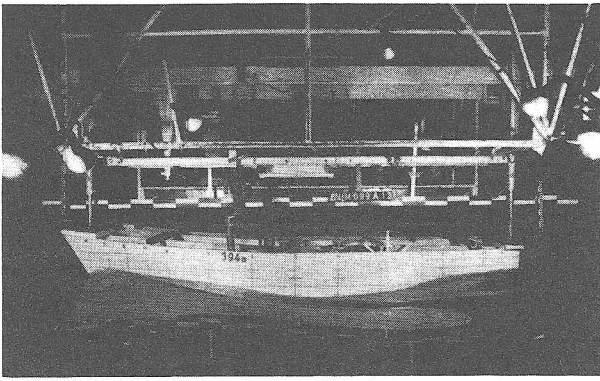


Bild 24. Wellenbild bei Katamaran-Modell U-55
(100% Verdrängung, $Q = 2,0 B_R$, $F_R = 0,355$)

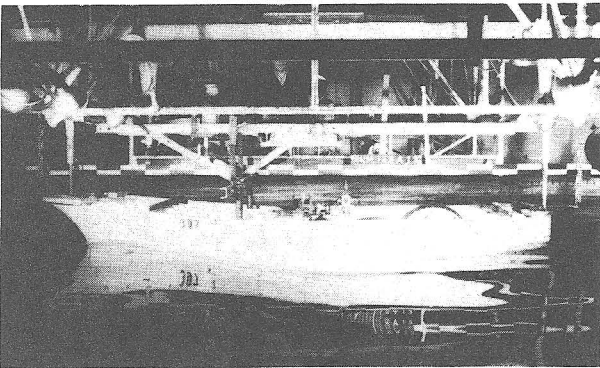


Bild 25. Wellenbild bei Katamaran-Modell S-65
(100% Verdrängung, $Q = 2,0 B_R$, $F_R = 0,358$)



Bild 26. Schwallbildung bei Katamaran-Modell U-55
(Blick von oben auf das Hinterschiff; Strömungsrichtung des Wassers von rechts nach links)

2. Die Schwallbildung tritt bei beiden Spantformen auf. Es besteht jedoch der Unterschied, daß der Schwall beim U-Spanter nach seinem erstmaligen Auftreten ständig bestehen bleibt und sich sogar mit wachsender Geschwindigkeit noch verstärkt, während es bei der S-Spanntform in bestimmten Geschwindigkeitsbereichen zum Abschwächen oder Verschwinden der Schwallbildung bei entsprechender Widerstandsabnahme kommt.
3. Bezüglich des Völligkeitsgrades der Verdrängung δ läßt sich aus den Versuchsergebnissen vermuten, daß für die S-Spanntform δ -Werte zwischen 0,60 und 0,65 am günstigsten sind. Für die U-Spanntform sind diesbezüglich aus den Untersuchungen kaum Schlußfolgerungen zu ziehen, doch scheinen hier δ -Werte über 0,55 nicht angebracht zu sein.
Wesentlicher als die Größe des δ -Wertes scheint jedoch die Form der Verdrängungsverteilung über die Rumpflänge zu sein. Der prismatische Koeffizient φ hat allem Anschein nach gerade auf den Katamaranwiderstand einen bedeutenden Einfluß. Das ist durch die starke Abhängigkeit der von den Rümpfen ausgehenden Wellensysteme von φ zu erklären.
4. Der Bau eines Katamarans mit S-Spannten macht eine sehr sorgfältige Abstimmung der Hauptfahrtgeschwindigkeiten mit dem Widerstandsverhalten notwendig. Solange die das Widerstandsverhalten des Katamarans bestimmenden Einflußfaktoren nicht weitgehend geklärt sind, müssen für jeden Entwurf sorgfältige Modelluntersuchungen vorgenommen werden, da sonst evtl. schwerwiegende Fehlschläge auftreten können.

Bei richtiger Festlegung dieser Einflußfaktoren ist in bestimmten Geschwindigkeitsbereichen mit beträchtlichen widerstandsmäßigen Vorteilen gegenüber der hier untersuchten U-Spanntform zu rechnen. Außerdem spielt hier die Frage der möglichen Stahlmasseeinsparung beim S-Spanter auf Grund der größeren verwendbaren Völligkeitsgrade der Verdrängung eine Rolle [16].

7. Zusammenfassung

Es wird über Widerstandsschleppversuche mit Katamaran-Modellen berichtet. Ausgehend von analysierenden Betrachtungen über die beim Katamaran vorhandenen Widerstandsanteile wird das Versuchsprogramm dargestellt. Es handelt sich dabei um die Untersuchung von fünf Modellvarianten mit U- und S-Spanntformen bei unterschiedlichen Völligkeitsgraden der Verdrängung. Die Versuche lassen den Einfluß der Spantform, des Völligkeitsgrades der Verdrängung und des Rumpfabstandes erkennen.

Es wird auf die Notwendigkeit hingewiesen, genauere Kenntnisse über die Größe der am Katamaranwiderstand beteiligten Anteile zu erhalten, um eine begründete Umrechnung des Modellwiderstandes auf die Großausführung durchführen zu können.

Mit dem Ziel, erste Anhaltspunkte über die Strömungsverhältnisse um Katamaranrümpfe zu erlangen, wurden Geschwindigkeitsmessungen mit Hilfe von Darcy-Staurohren an einem Modell durchgeführt.

Wie die Experimente zeigen, hat beim Katamaran die Schiffslinienform selbst einen bedeutenden Einfluß auf

die Größe des Widerstandes und auf den Verlauf der Widerstandskurven. In bestimmten Geschwindigkeitsbereichen weist die S-Spantform gegenüber der hier untersuchten U-Spantform beträchtliche widerstandsmäßige Vorteile auf.

Mit wachsendem Rumpfabstand fällt der Widerstand bei der U-Spantform relativ kontinuierlich, während für die S-Spantform bei einigen Geschwindigkeitsstufen diesbezüglich wechselnde oder entgegengesetzte Tendenzen zu verzeichnen sind.

Die Versuche lassen das Auftreten eines negativen Zusatzwiderstandes bei der S-Spantform erkennen.

Beim Schleppen der Katamaran-Modelle tritt bei bestimmten Geschwindigkeiten eine Schwallbildung im hinteren Bereich des Katamaranspaltes auf. Dieser Schwall hat eine starke Zunahme des Widerstandes zur Folge und dürfte seinen Ursprung in der Überlagerung der von beiden Rümpfen ausgehenden Heckwellensysteme haben.

Es werden für die unsymmetrische Bauweise der Katamaranrumpfe sprechende Fakten dargelegt und Untersuchungen in dieser Richtung als zweckmäßig erachtet.

Symbole

B	[m]	Breite
B _R	[m]	Breite des Katamaranrumpfes
D	[t]	Deplacement
F _n	[—]	Froudesche Zahl $F_n = v/\sqrt{gL}$
L _L	[m]	Länge zwischen den Loten
MR		Mitte Rumpf (Längssymmetrieebene des Katamaranrumpfes)
MS		Mitte Schiff (Längssymmetrieebene des Katamarans)
Q	[m]	Abstand von MR zu MR
Spt.		Spant
t	[mm]	Meßtiefe
v	[kn od. m/s]	Geschwindigkeit
v _∞	[m/s]	Schleppgeschwindigkeit des Modells
Δv	[m/s od. %]	Geschwindigkeitsdifferenz (v _∞ minus örtlich gemessene Geschwindigkeit)
W	[kp od. Mp]	Gesamtwiderstand
W _F	[kp]	Formwiderstand
α	[—]	Völligkeitsgrad der Wasserlinie

β	[—]	Völligkeitsgrad des Hauptspantes
δ	[—]	Völligkeitsgrad der Verdrängung
φ	[—]	Schärfegrad od. prismatischer Koeffizient $\varphi = \delta/\beta$
∇	[m ³ od. dm ³]	Verdrängung
∇ _{⊙L}	[% L]	Abstand des Verdrängungsmittelpunktes vom Hauptspant
Ω	[m ²]	Oberfläche

Literatur

- [1] *Schimke, A., und Puchstein, K.*: Ausführlicher Abschlußbericht zur F/E-Arbeit „Fischereikatamaran“. Institut für Entwerfen von Schiffen, Universität Rostock, und Institut für Schiffbau, Rostock (1965), unveröffentlicht.
- [2] *Schimke, A., und Puchstein, K.*: Der Katamaran und seine Eignung für die Fischerei. Schiffbautechnik 16 (1966) H. 1, S. 37 bis 41.
- [3] *Boerliche, H.*: Ungewöhnliche Verdrängungsschiffkörperformen für höhere Geschwindigkeiten (engl.). Intern. Shipbuilding Progress 6 (1959) H. 58, S. 258 u. 259.
- [4] *Dubrovsckij, W. A.*: Fahrtwiderstand von Katamaranen (russ.). Sudostrojenie 30 (1964) Nr. 7, S. 8 u. 9.
- [5] —: Warum nicht eine Katamaran-Kanal-Autofähre? (engl.). Engineering 199 (1965) 7 Mai, S. 618 u. 619.
- [6] *Wojewodskaja, E. N.*: Einschätzung der Fahrteigenschaften eines Katamarans (russ.). Sudostrojenie 30 (1964) Nr. 7, S. 6 bis 8.
- [7] *Michel, W. H.*: Der seefähige Katamaran, seine Merkmale und seine Ausführung (engl.). Intern. Shipbuilding Progress 8 (1961) H. 85, S. 390 bis 401.
- [8] *Halad, Z.*: Vergleich eines Katamarans mit einem Einrumpfschiff (tschechisch). Lodni stavitelstvi (1961) Nr. 1, S. 2 bis 13; Nr. 2, S. 29 bis 35.
- [9] *Alferjev, M. J.*: Zur Frage eines bedeutenden Anstieges der Fahrtgeschwindigkeit von Flußschiffen mit Eigenantrieb (russ.). Retschnoj Transport 14 (1956) Nr. 4, S. 11 bis 18.
- [10] *Eggers, K.*: Über Widerstandsverhältnisse von Zweikörperschiffen. Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 49 (1955), S. 516 bis 537.
- [11] *Chiang Wei-chong*: Katamaranwiderstand (chinesisch, Zusammenfassung engl.). Journal of Shipbuilding of China, Shanghai, China 59 (1965) Nr. 3, S. 21 bis 35.
- [12] *Schubert, B.*: Widerstand von Doppelrumpfschiffen. Diplomarbeit am Institut für Entwerfen von Schiffen, Universität Rostock (1963), unveröffentlicht.
- [13] *Schimke, A.*: Zur Wahl des B/T-Verhältnisses für zwei Katamaran-spantformen. Schiffbautechnik 16 (1966) H. 6.
- [14] *Friedrichs, K.*: Experimentelle Untersuchungen im Gerinne über die Schwallbildung bei seitlicher Einschnürung. Diplomarbeit am Institut für Strömungslehre, Universität Rostock (1965), unveröffentlicht.
- [15] —: Ein großer Katamaran sucht Öl im Golf (engl.). Marine Engineering/Log, 70 (1965) Nov., S. 68 u. 69.
- [16] *Puchstein, K., und Schimke, A.*: Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit von kleineren Fischereikatamaranen. Schiffbautechnik 17 (1967).