

ARCHIV

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

Untersuchung des Bodeneffekts für Flachwasserschiffe

Dr.-Ing. H. Schmidt-Stiebitz

73. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau, Duisburg

Institut an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen,
Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AIF)

Untersuchung des Bodeneffekts für Flachwasserschiffe

Dr.-Ing. H. Schmidt-Stiebitz

73. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau, Duisburg

Institut an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen,
Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AIF)

1. Einführung

Sowohl positive praktische Erfahrungen in der Elbeschiffahrt mit bodendurchwölbten Schiffen, als auch die guten Widerstands- und Propulsionsergebnisse auf flachem Wasser mit einer im Längsschnitt nahezu kreisbogenförmig verlaufenden Schutenform bei parallelen Seitenwänden [5] gaben Anlaß, den Einfluß einer Verdrängungstieferlegung auf den Wellenwiderstand systematisch zu untersuchen. Der Vergleich zwischen den Widerstands- und Propulsionsergebnissen gestattet dann Rückschlüsse auf die Umströmung solcher Flachwasserschiffe.

Der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e. V. sei gebührender Dank dafür ausgesprochen, die Untersuchung finanziell ermöglicht zu haben. Dem Leiter der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Duisburg, Herrn Professor Dipl.-Ing. W. Sturtzel, dankt der Verfasser für die ihm während der Untersuchung zuteil gewordene Hilfe und Förderung.

2. Übersicht über die Versuche

Kanal	9,8 m breiter Flachwassertank der VBD, stehendes Wasser, schwimmender Strand																					
Modelle $\alpha = 16$	M 13 „Gustav Koenigs“ als M 2 in [5 — FB 746] veröffentlicht. Die nachstehenden Modelle wie M 13, aber mit am Hauptspant durchgesenkten Böden.																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modell</th> <th>Wölbungsbetrag</th> <th>Natur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M 379</td> <td>d = 25 mm bzw. 0,4 m ohne Aufkimmung</td> <td></td> </tr> <tr> <td>M 395</td> <td>d = 50 mm bzw. 0,8 m ohne Aufkimmung</td> <td></td> </tr> <tr> <td>M 401</td> <td>d = 75 mm bzw. 1,2 m ohne Aufkimmung</td> <td></td> </tr> <tr> <td>M 420</td> <td>d = 50 mm bzw. 0,8 m mit Aufkimmung</td> <td></td> </tr> <tr> <td>M 421</td> <td>d = 75 mm bzw. 1,2 m mit Aufkimmung</td> <td></td> </tr> <tr> <td>M 382</td> <td>wie M 395, jedoch größte Durchwölbung auf 0,35 L hinter vorderem Lot, d. h. auf Spt. 6,5</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Modell	Wölbungsbetrag	Natur	M 379	d = 25 mm bzw. 0,4 m ohne Aufkimmung		M 395	d = 50 mm bzw. 0,8 m ohne Aufkimmung		M 401	d = 75 mm bzw. 1,2 m ohne Aufkimmung		M 420	d = 50 mm bzw. 0,8 m mit Aufkimmung		M 421	d = 75 mm bzw. 1,2 m mit Aufkimmung		M 382	wie M 395, jedoch größte Durchwölbung auf 0,35 L hinter vorderem Lot, d. h. auf Spt. 6,5	
Modell	Wölbungsbetrag	Natur																				
M 379	d = 25 mm bzw. 0,4 m ohne Aufkimmung																					
M 395	d = 50 mm bzw. 0,8 m ohne Aufkimmung																					
M 401	d = 75 mm bzw. 1,2 m ohne Aufkimmung																					
M 420	d = 50 mm bzw. 0,8 m mit Aufkimmung																					
M 421	d = 75 mm bzw. 1,2 m mit Aufkimmung																					
M 382	wie M 395, jedoch größte Durchwölbung auf 0,35 L hinter vorderem Lot, d. h. auf Spt. 6,5																					
Anhänge	keine																					
Turbulenz-erzeuger	1 mm ϕ Perlonfaden Spt. 8 und 9																					
Propeller	D = 1,54 m D = 96 mm H/D = 0,786 $Fa/\Gamma = 0,54$ z = 4																					
Wasserhöhen	163, 190, 219, 260, 320 mm																					
Flachwasser-verhältnis	s. Tabelle 7.0																					
Widerstands- und Propulsions-versuche	bis v_{max} . mechanische Messung von Widerstand, Absenkung und Trimm sowie von Drehmoment und Schub																					

3. Durchführung der Versuche

Als Vergleichs- und Ausgangs-Typschiiff wurde das Modell des „Gustav Koenigs“ M 13 [5] gewählt. Ihm wurden der Länge nach verschieden stark gewölbte, massive Böden untergesetzt, die über die ganze Länge des ursprünglich ebenen Bodens reichten und am Hauptspant jeweils eine Dicke von 0,006 L, 0,012 L und 0,018 L aufwiesen. Für die Dicke von 0,012 L wurde auch eine Platte entworfen, deren dickste Stelle sich auf Spant 6,5 bzw., umgekehrt aufgesetzt, auf Spant 3,5 befand. Diese Zusatzplatten hatten eine in Spantebene waagerechte Bodenlinie mit normalem Kimmansatz (Bild 1 bis 3). Für die Wölbungsmaße 0,012 L und 0,018 L der größten Dicke am Hauptspant wurden weitere Zusatzplatten angefertigt, deren Form vom Kiel her entsprechend der örtlichen Plattendicke aufgekimmmt waren (Bild 2 und 3). Jede Variante führte entsprechend der unter 2 gegebenen Übersicht eine eigene Modellnummer. Mit

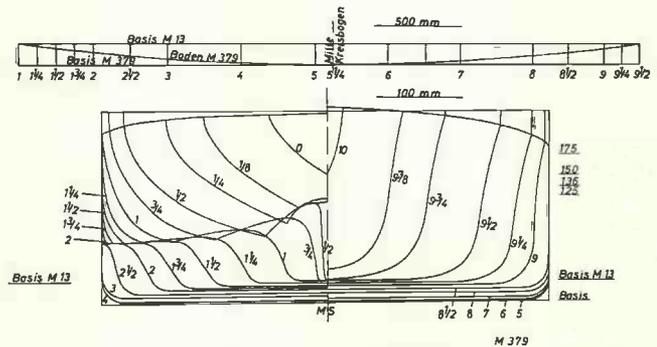


Bild 1 Spantenriß M 379

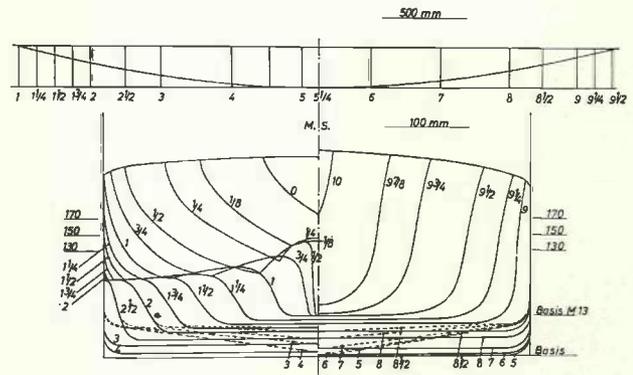


Bild 2 Spantenriß M 395 und M 420

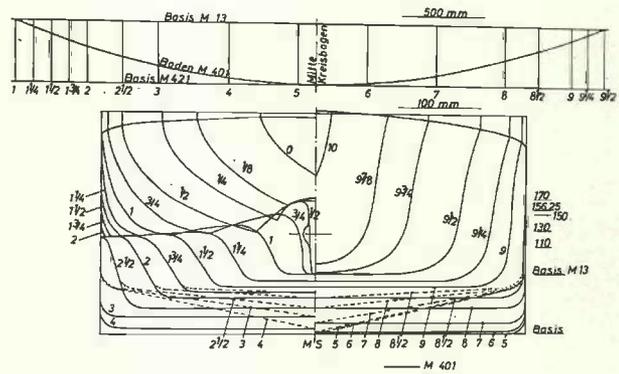


Bild 3 Spantenriß M 401 und M 421

jeder von ihnen wurden sowohl Widerstands- als auch Propulsionsversuche auf der Basis gleicher Verdrängung mit der bekannten mechanischen Meßmethode auf verschiedenen niedrigem Wasser gefahren.

4. Ergebnisse

Für die Untersuchung waren besonders die Flachwasserzustände bei Verhältniswerten von Wasserhöhe zu Tiefgang unterhalb 2,5 interessant. Um etwa zufällige Streuwerte auszuschalten, wurden die Wasserhöhen in fünf Stufen

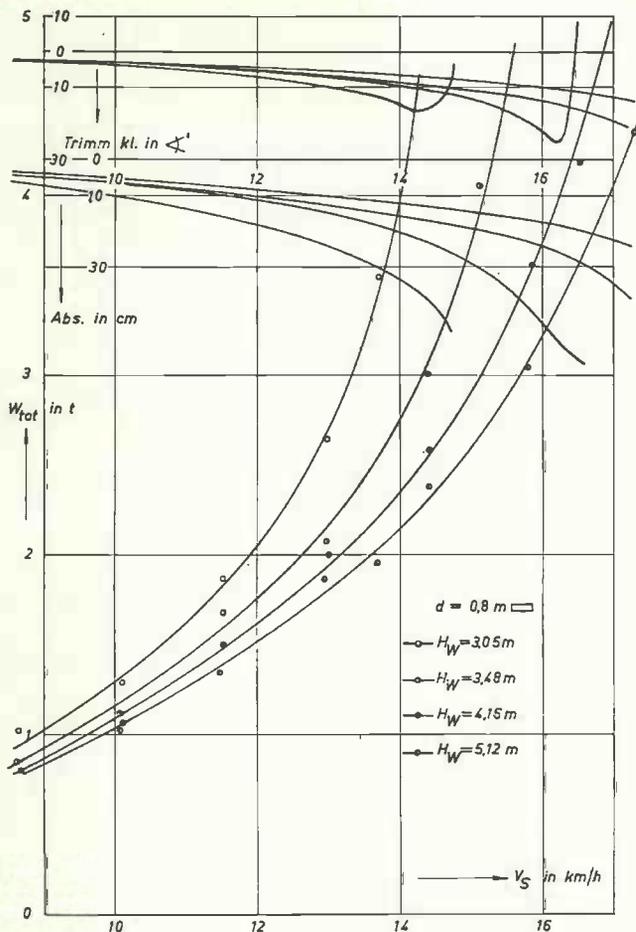


Bild 4 M 395 — Widerstandsversuch

bis herunter auf $H_w/T_g = 1,3$ für die Ausgangsform des „Gustav Koenigs“ M 13 gefahren. Durch die Bedingung gleichbleibender Verdrängung vergrößerten sich bei der Tieferlegung der Verdrängungsverteilung auch die Tiefgänge der Varianten und verkleinerten sich die Verhältniswerte H_w/T_g (Tabelle 7.0).

4.1 Trimm und Absenkung

Betrachtet man für bestimmte, in der Größenordnung der Betriebsgeschwindigkeit liegende Geschwindigkeiten den Trimm für die verschiedenen Varianten (Bild 13), so ergibt sich mit zunehmender Wölbung des Bodens eine Verringerung der Kopplastigkeit. Erst bei der größten untersuchten Wölbung kehrt sich diese Tendenz um. Die Absenkung besonders am Schiff mit aufgekimmtem Boden auf flachstem Wasser wird trotz vergrößerten Tiefganges in ähnlicher Weise wie der Trimm verkleinert (Bild 13 und 15) [4]. Die Minima für Trimm und Absenkung finden sich etwa übereinstimmend bei einer Bodendurchwölbung von 0,01 L.

4.2 Widerstand

Die Ergebnisse der Widerstands-Einzelfahrten (Bild 4) — aus Platzgründen hier nur von einer Variante gezeigt — wurden auch für gestufte Widerstandswerte über der Wasserhöhe (Bild 6, 7) verglichen. Unterhalb 3 m Wasserhöhe fallen die erreichbaren Geschwindigkeiten sehr stark ab. Die sich aus der Schiffsbodenvariation ergebenden Geschwindigkeitsdifferenzen (Bild 10) treten erst bei Wasserhöhen oberhalb von etwa 3 m, d. h. bei Flachwasserverhältnissen größer als $H_w/T_g \sim 1,3$ auf. Bei Wasserhöhen von 5 bis 6 m sind bei gleicher Verdrängung die prozentual größten Geschwindigkeitserhöhungen, etwa 7%, mit den am stärksten durchgewölbten Böden von 1,2 m (Natur) zu erzielen. Die anderen weniger stark gewölbten Varianten weisen eine Größenordnung der Verbesserung von etwa

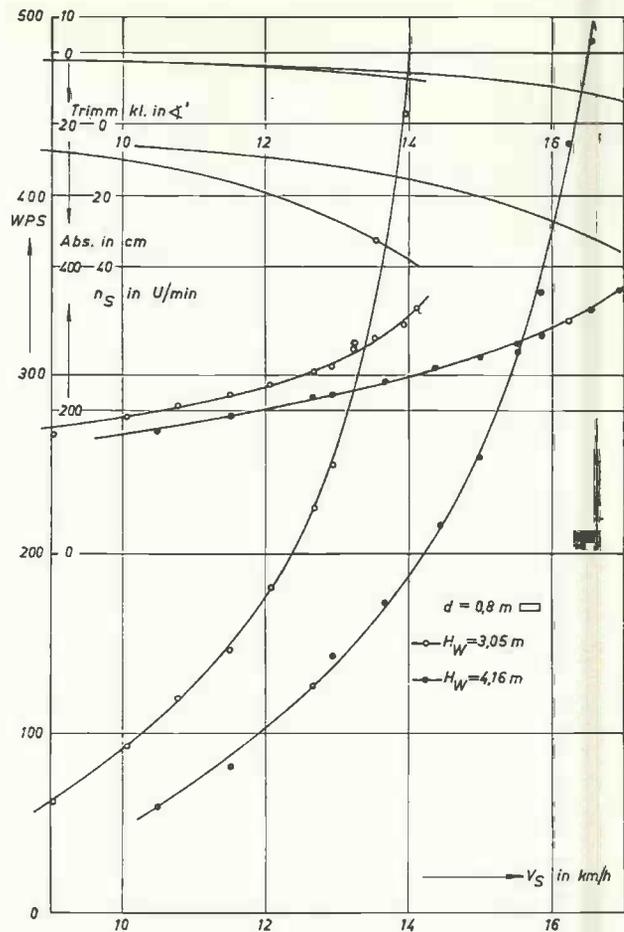


Bild 5 M 395 — Propulsionsversuch

4% auf. Für größere Wasserhöhen (über 6 m) sind aus der Kurventendenz bei den starken Wölbungen weitere Vorteile und bei den schwach gewölbten Böden kaum noch Verbesserungen zu erwarten. Stellt man den Vergleich nicht auf konstante Wasserhöhe, sondern auf konstante Verhältnisse von Wasserhöhe zu Tiefgang (Bild 12) ab, so wird bei einem Verhältnis $H_w/T_g = 1,6$ mit zunehmender Wölbung das Schiff mit gekieltem Boden besser als das mit aage-rechtem (Bild 14).

4.3 Propulsion

In gleicher Weise wurde mit den Ergebnissen der Propulsionsversuche (Bild 5) verfahren. Hier zeigen die nicht aufgekimmten Versionen bei Fahrten auf gleicher Wasserhöhe die besseren Werte (Bild 8, 9), wobei das Optimum bei der mittleren Durchwölbung (Bild 11) erreicht wird. In allen Fällen läßt die Kurventendenz für kleine Wasserhöhen (Bild 10 und 11) dieselbe Aussage wie beim Widerstand zu und für größere Wasserhöhen keine weiteren Vorteile dieser Maßnahme erwarten. Bezieht man die Geschwindigkeitsverbesserungen bei gleicher Leistung auf konstante Flachwasserverhältnisse H_w/T_g (Bild 12), so schneiden im Gegensatz zu den Widerstandsversuchen die nicht aufgekimmten Böden besser ab (Bild 14), nur verschiebt sich die Verbesserung gegenüber den ebenbodig ausgeführten Varianten zu den kleineren Durchwölbungen hin.

4.4 Einfluß einer Tieferverlagerung der Verdrängung

Die durchgewölbten Schiffsböden haben für den auf die Verdrängung bezogenen Widerstand je nach gefahrenem Flachwasserverhältnis bei 15,8 km/h Geschwindigkeitsgewinne von 14 bis 18% (Bild 14) gegenüber den Werten des ebenbodigen Schiffes gebracht. Vergleicht man damit die Tieferverlagerung der Verdrängung mittels einer ange-

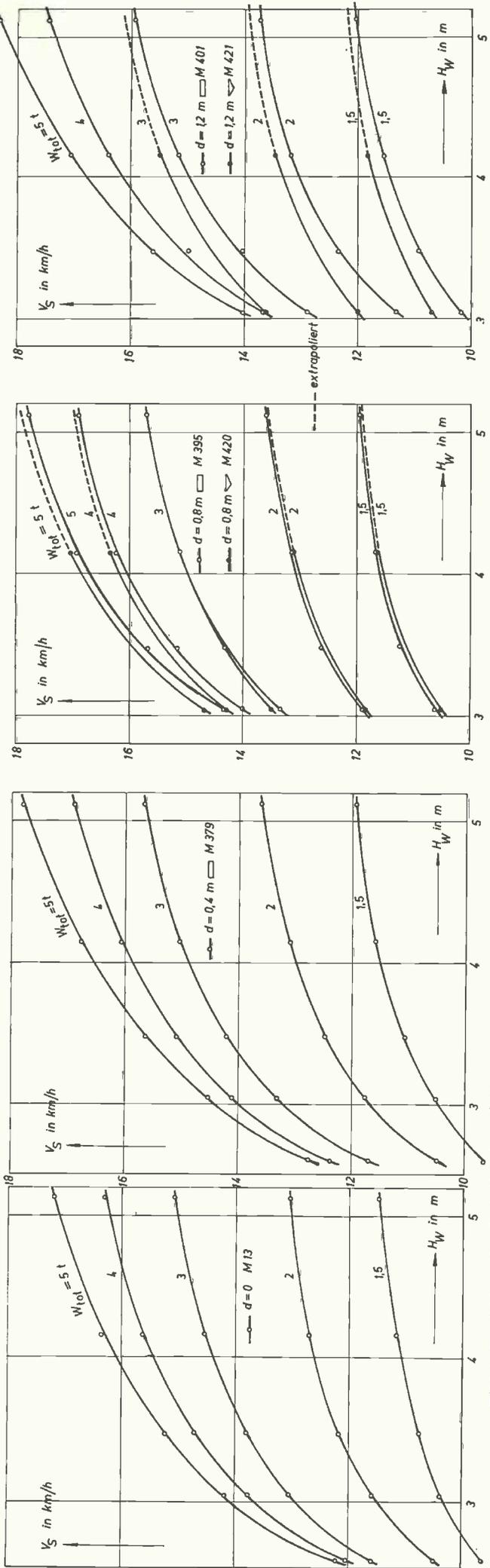


Bild 7 Erreichbare Geschwindigkeiten: Widerstandsversuche

Bild 6 Erreichbare Geschwindigkeiten: Widerstandsversuche

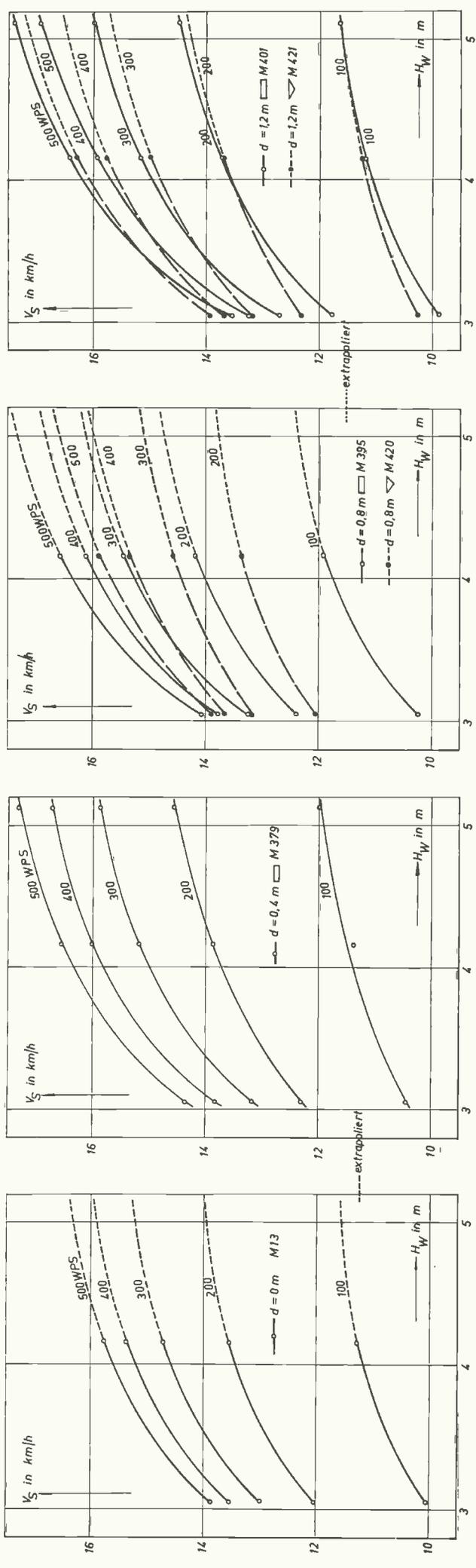


Bild 9 Erreichbare Geschwindigkeiten: Propulsionsversuche

Bild 8 Erreichbare Geschwindigkeiten: Propulsionsversuche

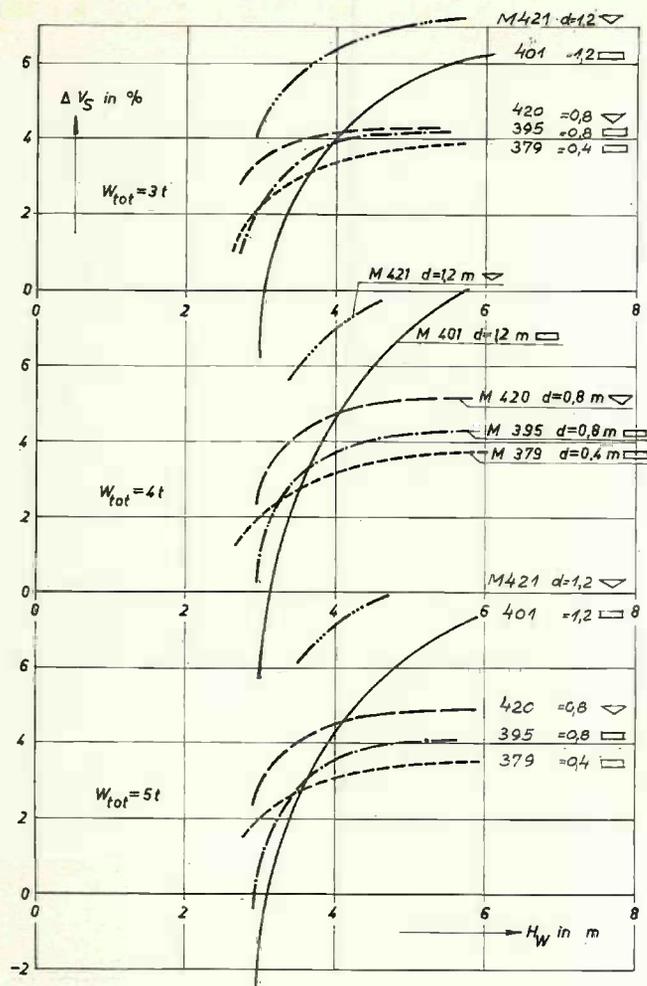


Bild 10 Geschwindigkeitsänderung bezogen auf M 13 d = 0

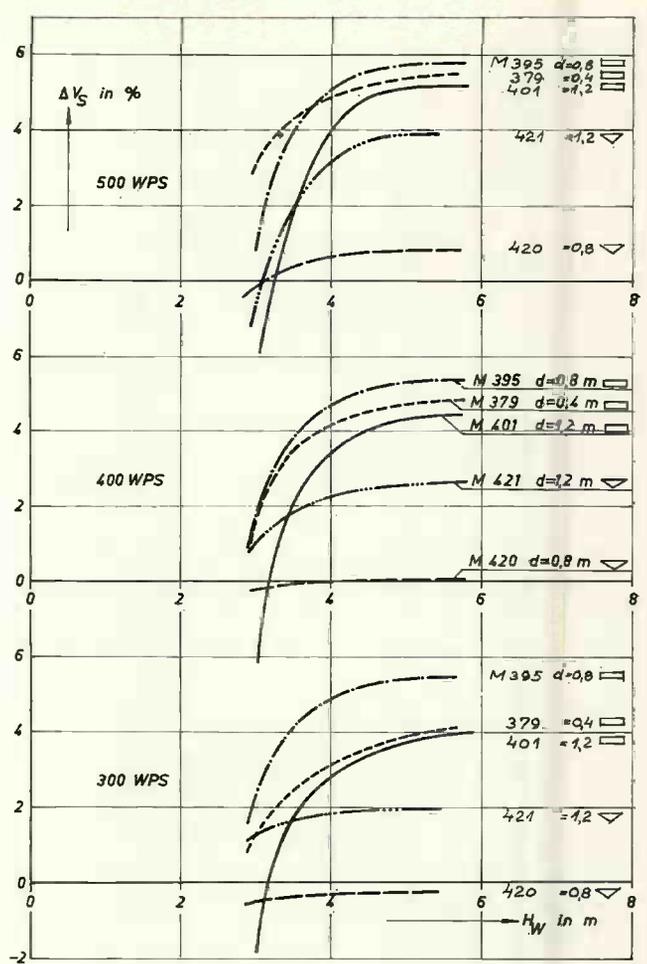


Bild 11 Geschwindigkeitsänderung bezogen auf M 13 d = 0

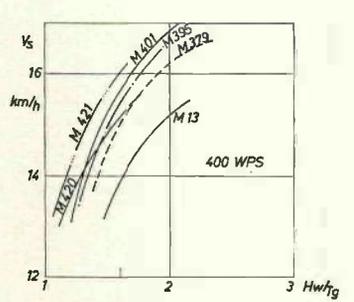
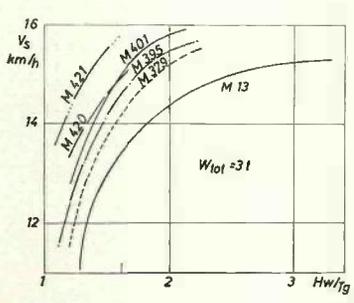


Bild 12 oben Widerstand
Bild 12 unten Propulsion

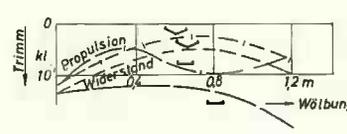
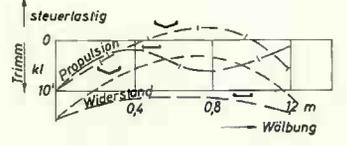
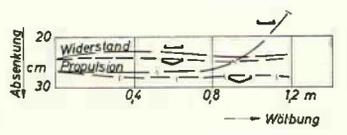
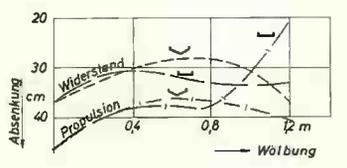


Bild 13

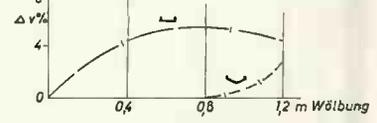
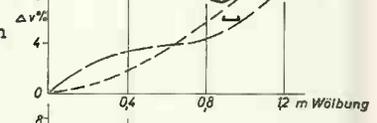
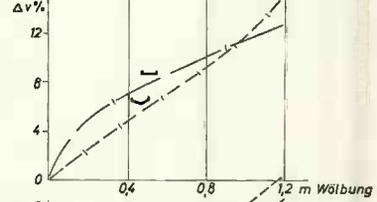
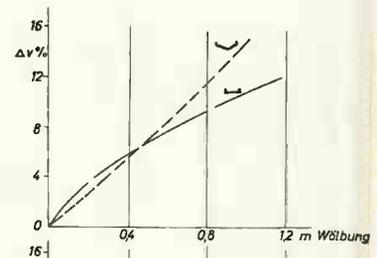


Bild 14 Geschwindigkeitsverbesserung bei gleichem Widerstand bzw. bei gleicher Leistung

näherten Kreishauptspantes bei langem parallelem Mittel-schiff, wie sie etwa bei den flexiblen Kunststoffschläuchen [5] verwirklicht wird, so ergibt sich eine auf die Verdrängung bezogene Widerstandserhöhung für $v = 15,8 \text{ km/h}$ je nach Ausführung zwischen 25 und 60 %.

4.5 Einfluß der Wasserhöhe

Die Beobachtung nur noch geringer Formeinflüsse bei sehr kleinen Wasserhöhen wurde früher auch schon gemacht. Z. B. lassen sich sowohl die maximalen Driftwinkel nach dem Ruderlegen als auch die mittleren Driftwinkel im Drehkreis [5] zu Nullwerten bei Flachwasserverhältnissen zwischen $H_w/T_g = 1,4$ bis $1,5$ extrapolieren. Und die nach Null extrapolierten Driftwinkel im Schrägschlepp bei Querkraft Null weisen auf Flachwasserverhältnisse von $H_w/T_g = 1,28$ bis $1,4$ [5]. Auch die Rückwanderung des taktischen Drehpunktes bei plötzlichem Ruderlegen in die $L/2$ -Lage (gleichbedeutend mit geringster Verkehrsbreite des Schiffes) läßt sich zu Flachwasserverhältnissen von $H_w/T_g = 1,2$ bis $1,4$ verfolgen [5].

4.6 Formeinflüsse

Die maximalen Durchwölbungen der Schiffsböden lagen im allgemeinen am Hauptspant. Am Modell 382 wurde die größte Wölbungshöhe um $0,15 L$ vor- und rückverlagert. In beiden Fällen ergaben sich höhere Widerstände als bei Mittschiffslage, die sich allerdings — abgesehen von der ganz kleinen Wasserhöhe ($H_w = 2,6 \text{ m}$) — unter denen für das ebenbodige Schiff M 13 hielten.

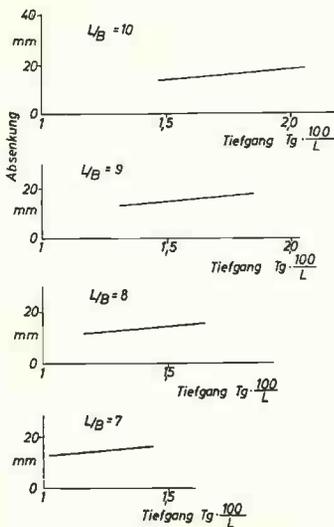


Bild 15 Spiegelabsenkung bei gleicher Verdrängung

$v = \text{const} = 1,2 \text{ m/s}$; $H_w = \text{const} = 4,375 \cdot L/100$
Auswertung aus [4]
Fahrgastschiffe $L_{WL} = 5 \text{ m}$, $V = 128 \text{ kg}$

Die besseren Ergebnisse mit den nicht aufgekimmten gegenüber den aufgekimmten Böden im Vergleich von Propulsion zu Widerstand werden durch die Anordnung nur einer Schraube hinter dem durchhängenden Kiel verständlich. Es kann danach vermutet werden, daß trotz des durchhängenden Schiffsbodens und niedrigster Flachwasserverhältnisse bei Ausführung mit waagerechten Spantböden der Zustrom zum Propeller hauptsächlich unter Kiel erfolgt.

Ähnliche Differenzen in der Tendenz zwischen Widerstands- und Propulsionsmessungen sind bereits aus den Veröffentlichungen von H. Kloess über die Maier-Form [1, 2, 3] bekannt. Aus ihnen konnte man auf Auswirkungen von Bugformveränderungen auf den Propellerzulauf fol-

gern und hat die Bestätigung nicht nur in Tiefwasser-, sondern auch in Flachwasserversuchen mit Binnenschiffstypen gefunden. In gewisser Weise erfüllen gerundete Schiffsböden in der vorliegenden Untersuchung und der schräg weggeschnittene Vorsteven der Maier-Form den gleichen Zweck: Dienen doch beide Maßnahmen einer stärkeren Wölbung der längs durch den Unterwasserschiffkörper gedachten Systemmittellinie in Verwandtschaft zur Skelettlinie eines Flügelprofils. Es ist daher erklärlich, aus beiden im wesentlichen Propulsionsvorteile ableiten zu können. Die starke Verengung der Stromlinien unter Kiel auf flachem Wasser wird auch den Druckgradientenverlauf im Vorschiffsbereich beeinflussen und sich damit auf den Propulsionsgütegrad auswirken. Aus Propulsionserwägungen ließe sich die Auffassung vertreten, daß einer natürlichen Durchbiegung des beladenen Schiffes wertseitig nicht durch hohlen Verlauf des unbeladenen, auf der Helling liegenden Schiffes entgegengearbeitet zu werden braucht, solange eine Überschreitung des zulässigen Tiefganges oder eine Gefährdung des Mindestfreibords nicht zu befürchten ist.

5. Zusammenfassung

Eine geringe Durchwölbung des nicht aufgekimmten Schiffsbodens auf flachem Wasser wirkt sich besonders auf die Propulsion günstig aus. Es bleibt zu untersuchen, in welcher Weise die Manöviereigenschaften dadurch beeinflußt werden.

Für die tatkräftige Beteiligung an den Versuchen und deren Auswertung dankt der Verfasser Dipl.-Ing. M. Mühlbradt.

6. Schiffsdaten

Mod.	L_{WL} m	B m	T m	d m	δ_{LWL}	v m ³	Ω m ²	Lage von d_{max}
M 13	66,5	8,16	2,00	0	0,867	940	726,0	—
M 379	66,3	8,16	2,18	0,4	0,796	940	721,5	50 % v. L.
M 395	66,0	8,16	2,32	0,8	0,752	940	713,5	50 % v. L.
M 382	66,1	8,16	2,36	0,8	0,739	940	710,0	35 % L v. vorderen Lot 35 % L v. hinteren Lot
M 401	65,6	8,16	2,485	1,2	0,703	940	709,5	50 % v. L.
M 420	66,2	8,16	2,485	0,8	0,695	940	701,5	50 % v. L.
M 421	66,1	8,16	2,75	1,2	0,634	940	696,5	50 % v. L.

7. Untersuchte Flachwasserverhältnisse H_w/T_g

H_w Schiff Modell	2,60 m	3,05 m	3,48 m	4,16 m	5,12 m
M 13	1,3	1,52	1,75	2,08	2,56
M 379	1,2	1,393	1,61	1,91	2,35
M 395	1,12	1,31	1,51	1,79	2,21
M 401	1,043	1,215	1,4	1,66	2,05
M 420	1,043	1,215	1,4	1,66	2,05
M 421	—	1,105	1,275	1,51	1,86
M 382	1,105	1,29	1,485	1,765	2,17

Schrifttum

- [1] Kloess, H.: Modellversuche mit der Maier-Schiffsform, WRH 1929, S. 97.
- [2] Kloess, H.: Etwas über Widerstand und Propulsion, WRH 1936, S. 321.
- [3] Saunders, H. E.: Hydrodynamics in Ship Design Vol. I. S. 371 — SNAME 1957.
- [4] Helm, K.: Optimale Formverhältnisse für schnelle Fahrgastschiffe auf Binnengewässern, Schiff und Hafen 9/1961.
- [5] Verfasser in Schiff und Hafen Nr. 9/1960; Nr. 4/1964 Nr. 8/1964; FB 746 des Landes Nordrhein-Westfalen und in Schiffstechnik Nr. 28/1958 u. 32/1959.

