

Ergebnisse naturgroßer Schraubenversuche auf Dampfer „Tannenbergl“

Von G. Kempf

179. Mitteilung der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt

Sonderabdruck aus „Werft * Reederei * Hafen“. XX. Jahrgang 1939, Heft 12, S. 167—174.
(Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH , Berlin W 9.)

ISBN 978-3-662-31390-9
DOI 10.1007/978-3-662-31597-2

ISBN 978-3-662-31597-2 (eBook)

Ergebnisse naturgroßer Schraubenversuche auf Dampfer „Tannenberg“.

Von Dr.-Ing. G. Kempf, Hamburg.

179. Mitteilung der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt.

I. Aufgabe und Lösungsmethode.

Die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse von Schiffs- und Schraubenmodellen auf das naturgroße Schiff und die naturgroßen Schrauben leidet unter dreierlei Unsicherheiten.

Unsicher sind:

1. der Rauheitsgrad der Schiffsoberfläche und der dafür einzusetzende Reibungsbeiwert,
2. die Übertragbarkeit des beim Modellversuch ermittelten Nachstromwertes,
3. die Übertragbarkeit der am Propellermodell gemessenen Schub- und Momentenbeiwerte.

Diese Unsicherheiten sind die Ursache dafür, daß immer noch gelegentlich beim Schiff Abweichungen von den Vorausberechnungen nach dem Modellversuch vorkommen, und daß die Erfahrungsschläge in gewissen Grenzen schwanken.

Es ist in den vergangenen Jahren unser Streben gewesen, die erste und größte Unsicherheit, welche aus dem Rauheitsgrad der Schiffsoberfläche herrührt, möglichst einzugrenzen und aufzuklären.

Dieses Ziel ist auf verschiedenen Wegen erstrebt und erreicht worden. Einmal sind für verschiedene Arten von Oberflächenrauheiten in Göttingen und Hamburg Widerstandsuntersuchungen ausgeführt und die Beiwerte bestimmt worden.

Ferner sind für Schwesterschiffe von verschiedener Oberflächenbeschaffenheit (genietet und geschweißte Platten) naturgroße Vergleichsmessungen für sonst gleiche Zustände mit der gleichen Schraube ausgeführt worden, und schließlich sind für eine Reihe von Schiffen genaue Fahrtmessungen ausgeführt worden, welche ein reiches Vergleichsmaterial mit den Modellversuchen geliefert haben.

Es ist dadurch bisher gelungen, für die Oberflächenbeschaffenheit der Schiffe bestimmte Rauheitsgrade und damit Widerstandsbeiwerte zu ermitteln, welche für die Berechnung des Schiffswiderstandes einigermaßen zuverlässige Werte liefern.

Die zweite Unsicherheit liegt in der Übertragbarkeit des beim Modellversuch ermittelten Nachstromes, und zwar einmal in der Art der Nachstromermittlung am Modell und dann in der Frage, wie groß der Anteil des Reibungsnachstromes am Gesamtnachstrom im einzelnen Fall sein mag.

Die dritte Unsicherheit besteht in der Übertragbarkeit der am Propellermodell gemessenen Schub- und Momentenbeiwerte, einmal infolge Auftretens von unterkritischen Strömungszuständen beim Modellpropeller und dann infolge von Unterschieden in den Reibungswerten für die glatte Flügeloberfläche der naturgroßen Schiffsschraube bei den entsprechenden Reynoldsschen Zahlen.

Gewöhnlich treten alle diese Einflüsse gleichzeitig auf, so daß eine Analyse dadurch unmöglich wird.

Durch besondere Maßnahmen und Versuche mit dem D. „Tannenberg“ war es nun möglich, die oben genannten verschiedenen Einflüsse voneinander getrennt zu untersuchen und dadurch Erkenntnisse zu gewinnen, welche für die Übertragbarkeit von Modellversuchen auf das naturgroße Schiff und seine Schrauben von Wert sind. Diese Versuche sind von der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt in den Jahren 1937/38 mit dem zu diesem Zweck zweimal gecharterten Schiff durchgeführt worden.

Der „Tannenberg“ ist ein Doppelschraubendampfer mit Dampfturbinenantrieb. Er ist im Jahre 1934 von den Stettiner Oderwerken im Auftrag des Reichsverkehrsministeriums für den Seedienst Ostpreußen erbaut. Die Maschinen sind von der Firma Schichau, Elbing, die Schrauben von den Atlaswerken, Bremen, geliefert. Die Schrauben sind in kurzen Wellenhosen und in Wellenböcken gelagert. Das Schiff hat am Heck ein Mittelruder und ein Bugruder. Dies alles machte es für die Versuche besonders geeignet.

Die Turbine sicherte infolge ihres gleichförmigen Drehmomentes gute Torsionsmessungen. Das Mitchelldrucklager konnte für Propellerschubmessungen ausgebildet werden. Die Lagerung der Propeller in Wellenböcken gewährleistete verhältnismäßig gleichförmige Nachstromverteilung. Die Ruderanlage sicherte gute Steuerfähigkeit bei Voraus- und bei Rückwärtsfahrt.

Es kam nun darauf an, im Vergleich zu den Modellversuchsergebnissen die Schraubenbeiwerte am wirklichen Schiff in einem Zustand zu ermitteln, der frei war vom Reibungsnachstrom. Dies war nur möglich bei rückwärtsfahrendem Schiff, wo am Ort der Schraube kein Reibungsnachstrom herrscht.

Dann mußte es möglich gemacht werden, diese so ermittelten Beiwerte für Schub und Drehmoment der rückwärts arbeitenden

Schraube auf die vorwärts arbeitende Schraube anzuwenden, um mit ihrer Hilfe die Nachstrombeeinflussung bei Vorausfahrt festzustellen.

Zu diesem Zweck mußte die Schraube so ausgebildet sein, daß sie bei Vorwärts- und Rückwärtsfahrt die gleiche Charakteristik aufwies, sie mußte also vollkommen symmetrisch sein.

Schließlich konnte es nicht genügen, die Propellerbeiwerte nur bei der normalen Belastung zu messen, es mußten also Maßnahmen ergriffen werden, um möglichst weitgehende Belastungsunterschiede für die Schrauben herzustellen.

Die Erreichung all dieser Ziele war nur möglich durch weitgehendes Entgegenkommen aller beteiligten Kreise.

Das Reichsverkehrsministerium, dessen technischer Sachbearbeiter Herr Oberregierungsbaurat von Rohr war, und der Seedienst Ostpreußen (Ministerialrat Dr. Ehardt) stellten bereitwillig das Schiff zweimal im Frühjahr 1937 und 1938 für unsere Meßfahrten in Charter zur Verfügung im Anschluß an die üblichen Indienststellungsfahrten.

Die Schiffs- und Maschinenleitung, Herr Kapt. Jacobsen und der leitende Ingenieur Herr Dobbitsch, widmeten sich mit besonderer Anteilnahme unseren Messungen und ermöglichten in großzügiger Weise die Erfüllung aller zum Erfolg der Messungen notwendigen Wünsche an das Manövrieren des Schiffes und seiner Maschinen.

Die Atlaswerke, Bremen, lieferten kostenlos den für die Messungen benötigten Steuerbordpropeller aus Bronze von vollkommen symmetrischer Form nach unseren Angaben.

Die Deutsche Werft, Hamburg, lieferte die besonders anzufertigenden Mitchell-Schraubenschubmesser ihrer Konstruktion mit doppelten Meßdosen für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt unter erleichternden Bedingungen.

Die Firmen H. Maihak AG., Hamburg, und Blohm & Voss, Hamburg, stellten jede ihre Torsionsmesser kostenlos mit Bedienung zur Verfügung, so daß zusammen mit den Torsionsmessern der Versuchsanstalt auf jeder Welle drei Torsionsmesser zur Verfügung standen.

Die Firma Schichau, Elbing, stellte ihre Zeichnungen zur Verfügung.

Die Stettiner Oderwerke übernahmen die mehrfachen Dockungen zum Aufsetzen des Propellers und zur Anbringung der Meßgeräte wie der Torsions- und Schubmesser und der Fahrtmesser für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt.

Allen Beteiligten, besonders auch meinen die Messungen ausführenden Mitarbeitern, an ihrer Spitze Herrn Ing. H. Hoppe, welcher den Einbau und die Messungen leitete, sei für ihre Mitwirkung an dieser Stelle gedankt und gesagt, daß der Erfolg der Messungen nur durch diese Zusammenarbeit aller möglich wurde.

An Meßgeräten waren eingebaut:

1. Fahrtmesser: ein Staudruckmesser am Bug (HSVA.), ein Staudruckmesser am Heck (HSVA.), ein Widerstandslog mittschiffs Steuerbord (HSVA.) für Messung bei Vorwärts- und Rückwärtsfahrt.

2. Schubmesser auf jeder Welle am Mitchell-Drucklager mit je zwei Druckdosen und Registriergeräten für Vorwärts und Rückwärtsfahrt (Deutsche Werft, Hamburg).

Diese von uns gewünschte Ausbildung des Gerätes sicherte eine dauernde Überwachung der Zuverlässigkeit, weil der Schub als Differenz zweier Druckschreiber registriert werden konnte und bei konstantem Schub und bei willkürlicher Veränderung der einen Drucklinie durch Aufpumpen die andere sich entsprechend verschieben mußte.

3. Torsionsmesser auf jeder Welle drei Meßgeräte: 1. Torsionsmesser mit Ritz-Dehnungsschreiber (HSVA.), 2. Torsionsmesser mit Spiegelablesung der Verdrehung (B. & V.), 3. Torsionsmesser mit Schaefer'schen Meßsaiten und oszillographischer Ablesung (Maihak).

4. Drehzahlmesser mit Nockenkontakten (HSVA.).

Sämtliche vier Messungen wurden durch fortlaufende synchronisierte Schriebe registriert.

Die Fahrten im Frühjahr 1937 lieferten noch keine ausreichenden Meßergebnisse und litten unter vorübergehendem Ausfall des einen oder anderen Meßgerätes. Auf Grund dieser Erfahrungen wurden bei der Meßfahrt 1938 möglichst alle Messungen mit mindestens zwei verschiedenen Geräten ausgeführt; nur beim Schub war dies leider nicht möglich, wodurch auf einer Fahrt drei Schubmessungen ausfielen.

Auch sonst wurden auf der ersten Fahrt 1937 mannigfache Erfahrungen gesammelt und bei der Fahrt 1938 dann verwertet. Das Wetter war besonders auf der zweiten Meßfahrt 1938 außerordentlich günstig.

Es muß hervorgehoben werden, daß keine üblichen Propulsivfahrten durchgeführt wurden, sondern lediglich Fahrten zur Ermittlung der Propellerbeiwerte der beiden verschiedenartigen Schiffschrauben bei Vorwärts- und Rückwärtsfahrt unter verschiedenen Belastungsgraden.

Propulsivfahrten hätten keinen Sinn gehabt, weil Backbord- und Steuerbordschraube verschieden waren, also bei gleichen Drehzahlen weder die Leistungen noch die Schübe gleich waren.

Infolgedessen wurden die Meßfahrten so eingerichtet, daß die Drehzahlen der Schrauben gegeneinander verändert wurden, damit ein möglichst weiter Bereich verschiedener Belastungsgrade für jede Schraube untersucht werden konnte. Durch Modellversuche im Maßstab 1:20 wurden die Schub- und Momentenbeiwerte der Modellschrauben sowohl in offenem Wasser, d. h. freifahrend, als auch hinter dem Schiffsmodell für verschiedene — auch negative — Belastungsgrade gemessen. Ferner wurde die Nachstromverteilung am Ort der Modellschraube durch Doppelstaurohr sowohl bei Voraus- wie bei Rückwärtsfahrt gemessen.

Wenn es auf diese Weise gelingt, die Propellerbeiwerte der naturgroßen Schrauben und den Nachstrom des Schiffes sicherzustellen, ist es ein Leichtes, aus den gewöhnlichen Progressivfahrten des Schiffes mit zwei gleichen Schrauben im Vergleich zum Modellversuch den Reibungsbeiwert für den Rauheitsgrad der Schiffsoberfläche zu errechnen.

Damit waren dann sämtliche noch bestehenden und anfangs gekennzeichneten drei Unsicherheiten bei der Übertragung des Modellversuches auf das Schiff mindestens in diesem einen Fall aufgeklärt.

Darüber hinaus wird die Erkenntnis gewonnen, wie solche Aufklärung durchzuführen ist, und ob die früher vorgeschlagene Reibungsbewertung für Schiff und Schrauben zutrifft.

Wie nun im einzelnen diese Erkenntnis gewonnen wurde, soll im folgenden auf Grund der Versuchsergebnisse gezeigt werden.

II. Versuchsergebnisse.

a) Konstruktionswerte:

Der für die Versuche benutzte Dampfer „Tannenberg“ hat folgende Abmessungen:

Länge	L = 120,00 m
Breite	B = 15,50 m
Tiefgang	T = 4,50 m
Verdrängung	D = 4664 m ³
Völligkeitsgrad	$\delta = 0,558$

Seine Maschinenanlage besteht aus zwei Dampfturbinen von je 4000 PSe mit Getriebeuntersetzung.

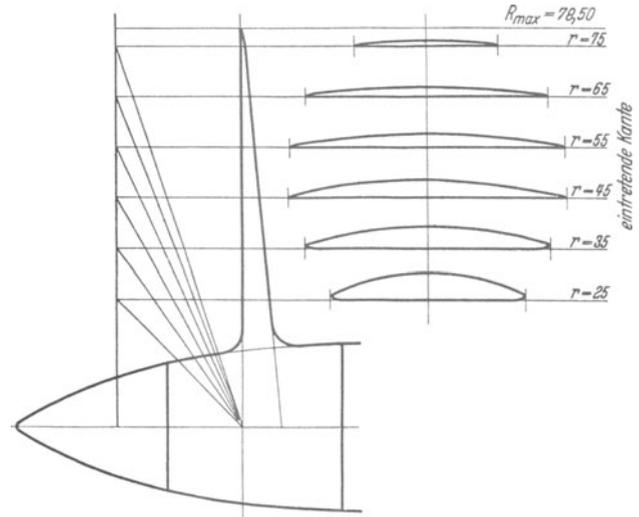


Abb. 1. Backbordpropeller.

Der Backbordpropeller hatte die für solche Schiffe übliche Form (Abb. 1); er bestand aus Bronze und hatte folgende Abmessungen:

Durchmesser	D = 3140 mm
Steigung	H = 3140 mm
Flügelzahl	Z = 3
Flächenverhältnis	A a/A = 0,42

senkrechte Erzeugende, symmetrische Flügelflächen, kreisförmige Flügelschnitte.

Der Steuerbordpropeller war in gleichen Abmessungen als vollkommen symmetrisches Meßrad gebaut mit symmetrischen linsenförmigen Flügelschnitten (Abb. 2) und bestand ebenfalls aus Bronze. Er hatte folgende Abmessungen:

Durchmesser	D = 3140 mm
Steigung	H = 3140 mm
Flügelzahl	Z = 3
Flächenverhältnis	A a/A = 0,42

senkrechte Erzeugende, symmetrische Flügelflächen, linsenförmige Flügelschnitte.

Die Modelle von Schiff und Propellern wurden im Maßstab 1 : 20 hergestellt und in der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt untersucht.

b) Modellversuche.

1. Die beiden Propellermodelle wurden im freien Wasser sowohl vorwärts- als auch rückwärtsfahrend bei verschiedenen Drehzahlen mehrmals 1937 und 1938 gemessen. Beide Propeller haben senkrechte Erzeugende, symmetrische Flügelflächen und symmetrische kreis- bzw. linsenförmige Flügelschnitte. Das Leerdrehmoment des Steuerbordpropellers hat bei Nullschub vorwärts- und rückwärtsschlagend den gleichen Wert, seine Schnitte sind völlig symmetrisch.

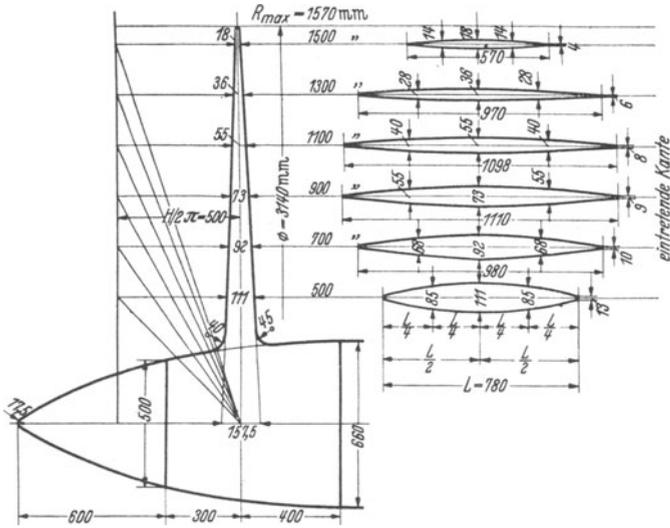


Abb. 2. Steuerbordpropeller.

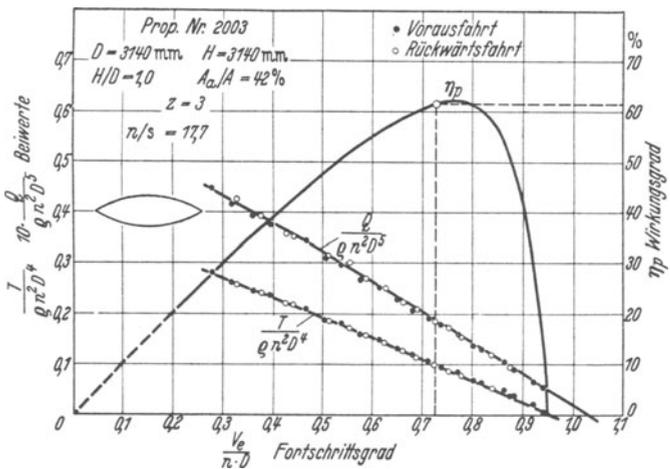


Abb. 3. Steuerbordpropeller (Freifahrt).

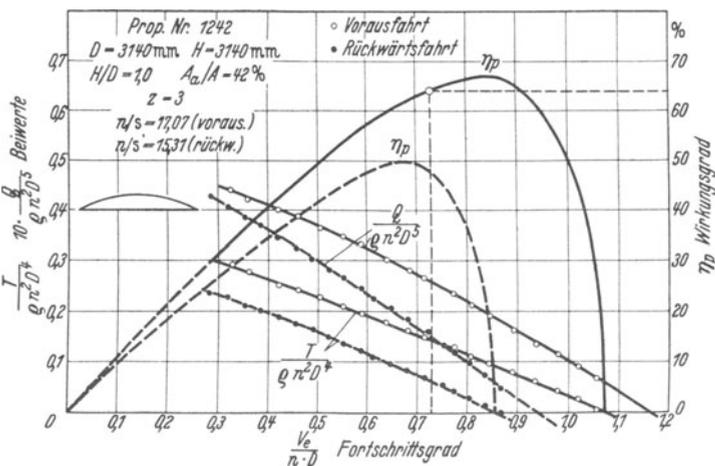


Abb. 4. Backbordpropeller (Freifahrt).

Die Meßergebnisse sind in Abb. 3 u. 4 dargestellt. Der Widerstandsbeiwert des Meßpropellers mit linsenförmigem Querschnitt errechnet sich aus dem Leerdrehmoment bei Nullschub und entspricht genau dem nach der Prandtl-Schlichting-Formel für glatte Oberflächen zu erwartenden Wert $C = 0,455 \cdot (\log R)^{-2,58}$. Der Widerstandsbeiwert des Normalpropellers mit kreisförmigem Querschnitt ist etwa 30 % größer.

2. Die beiden Propellermodelle wurden am Schiffmodell in gleicher Weise wie im freien Wasser vorwärts- und rückwärtsfahrend bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Drehzahlen, d. h. bei verschiedenen Fortschritts- und Belastungsgraden ebenfalls mehrfach 1937 und 1938 gemessen.

Die Meßergebnisse sind in Abb. 5 dargestellt, indem die Drehmomentenbeiwerte über den Schubbeiwerten aufgetragen sind. Der Steuerbordpropeller hat vorwärts- und rückwärtsfahrend die gleiche Charakteristik. Eine Abweichung trat nur bei kleinen Drehzahlen im unter kritischen Bereich auf.

In Abb. 6, 7, 8 und 9 sind die Beiwertkurven über dem Fort-

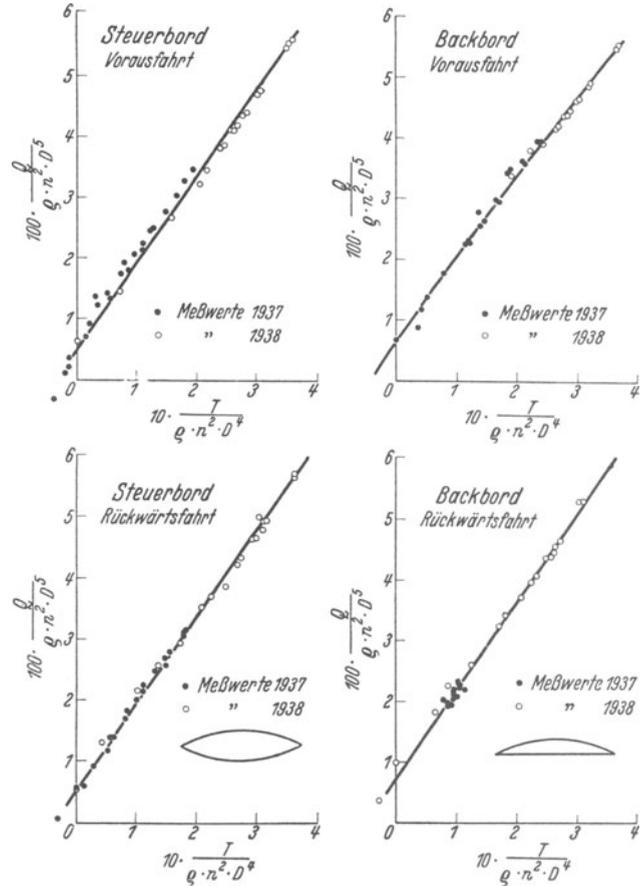


Abb. 5. Modellpropeller am Schiffmodell.

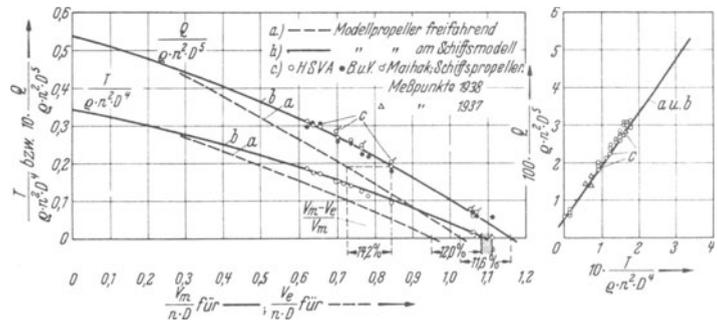


Abb. 6. Steuerbordpropeller bei Voraufahrt.

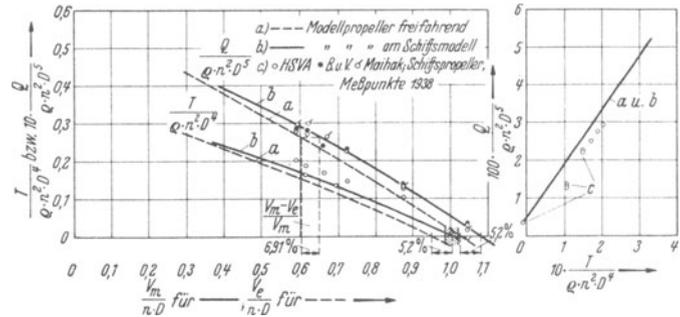


Abb. 7. Steuerbordpropeller bei Rückwärtsfahrt.

schrittsgrad aufgetragen, und zwar in ausgezogenen Linien für die Propellermodelle am Schiffmodell und in gestrichelten Linien für die freifahrenden Propellermodelle. Der Horizontalabstand der Kurven entsprechender Beiwerte liefert das Maß für die Nachstromwirkung des Schiffmodells auf den Modellpropeller, die bei beiden Schrauben trotz ihrer Verschiedenheit praktisch gleich ist.

Diese durch den horizontalen Kurvenabstand, d. h. bei gleichen Beiwerten, ermittelten Nachstromwerte sind durchgängig etwas größer, als der mit dem Doppelstaurohr im Propellerkreis gemessenen mittleren Eintrittsgeschwindigkeit entspricht.

Dies läßt sich dadurch erklären, daß der Propeller am Schiff ungleichförmiger Eintrittsgeschwindigkeit arbeitet und dadurch im Vergleich zum freifahrenden Propeller, der in gleichförmiger mittlerer Eintrittsgeschwindigkeit arbeitet, bei gleichem mittleren Fortschritts-

grad ein kleinerer Schub erzeugt wird, einmal weil der mittlere erzeugte Schub bei gewölbter Beiwertkurve niedriger ist als der Schub bei gleichförmiger Eintrittsgeschwindigkeit und gleichförmigem Fortschrittsgrad, und dann weil die Geschwindigkeitsschwankungen bei jedem Umlauf den Schub der Flügel vermindern, so daß der dem freifahrenden Propeller gleiche Schub nur bei einem kleineren Fortschrittsgrad erzeugt werden kann. Dies wirkt sich in einer scheinbaren Vergrößerung des nach dieser Methode ermittelten Nachstromes gegenüber dem aus der unmittelbaren Geschwindigkeitsmessung gewonnenen Nachstrom aus.

Abgesehen hiervon, sind die Nachstromänderungen, die mit der Schiffsgeschwindigkeit sich ergeben, bei genauen Versuchsanalysen nicht zu vernachlässigen.

Beim Modell der „Tannenberg“ wurden diese Änderungen festgestellt durch Messungen des Nullschubes bei verschiedenen Geschwindigkeiten (Abb. 10). Diese ließen sich meßtechnisch sehr genau ausführen, während die Messungen des Nullmomentes selbst bei sorgfältigster Messung und feinsten hierfür hergestellter Apparaturen durch die Reibungsschwankungen in der Wellenlagerung zu unsicher waren.

Der Nullschub bewegte sich bei Vorwärtsfahrt zwischen Fortschrittsgraden von 1,12 bei kleinen Geschwindigkeiten bis zu solchen von 1,084 bei der Dienstgeschwindigkeit. Das bedeutet Nachstromschwankungen von 14,9—12,4%.

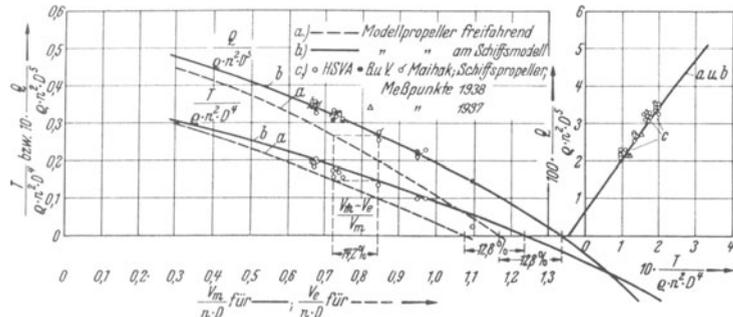


Abb. 8. Backbordpropeller bei Voraussfahrt.

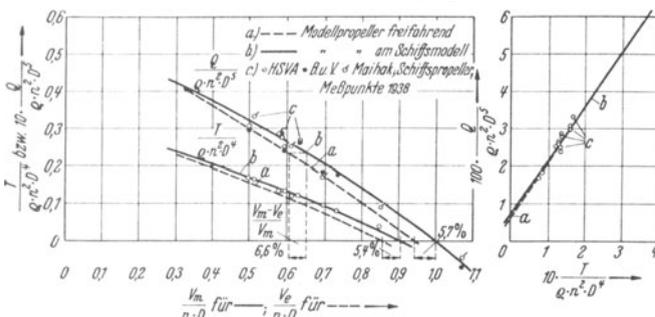


Abb. 9. Backbordpropeller bei Rückwärtsfahrt.

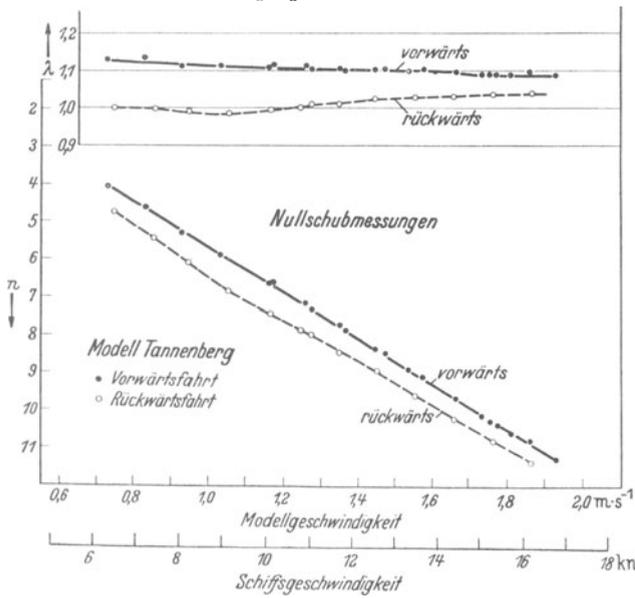


Abb. 10.

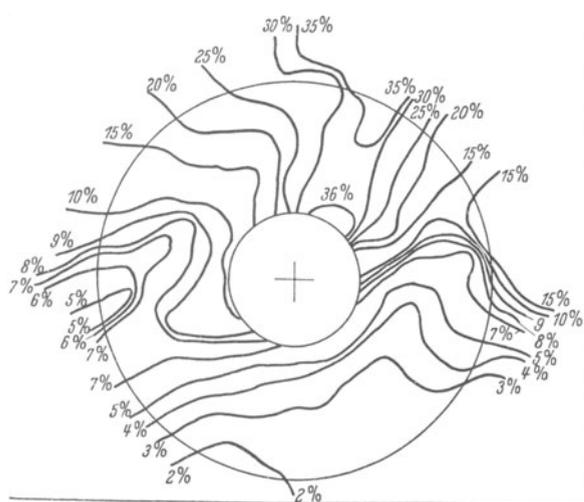


Abb. 11. Linien gleich hohen Nachstroms in % der korrespondierenden Schiffsgeschwindigkeit. — Vorwärtsfahrt.

Meßfahrt „Tannenberg“
Vorwärts-

Backbord

Fahrt-Nr.	Zeit	Messung von	V _s in kn	N/min	Schub	WPS	C ₁	10 · C ₂	λ _m
1.	12,50	HSVA Blohm&Voss Maihak	4,3	35	0,25	29	0,0723	0,55	1,205
				35	0,025	10	0,0723	0,19	1,205
2.	13,10	„	8,6	78	0,85	122	0,0495	0,209	1,085
				78		108	0,0495	0,185	1,085
3.	13,30	„	11,10	112	3,20	390	0,092	0,226	0,972
				112		440	0,092	0,255	0,972
4.	13,50	„	7,8	114	6,60	643	0,182	0,354	0,672
				114		609	0,182	0,335	0,672
				113		617	0,184	0,347	0,678
5.	14,10	„	9,9	146	11,10	1336	0,189	0,35	0,665
				146		1290	0,189	0,338	0,665
				146		1313	0,189	0,343	0,665
6.	14,30	„	13,1	190	18,70	2750	0,181	0,324	0,676
				190		2970	0,187	0,35	0,676
				194		3153	0,183	0,351	0,663
7.	14,50	„	11,75	152	9,68	1326	0,157	0,308	0,748
				152		1320	0,151	0,3065	0,748
				155		1328	0,149	0,29	0,744
8.	15,10	„	8,7	118	5,85	656	0,151	0,326	0,723
				118		618	0,151	0,306	0,723
				117		618	0,153	0,314	0,730
9.	15,30	„	7,65	44	-2,30	-37	-0,420	-0,354	1,705
				44		-33	-0,420	-0,316	1,705
				42		-33	-0,440	-0,363	1,787
10.	15,50	„	9,7	59	-3,25	-53	-0,335	-0,21	1,615
				59		-60	-0,335	-0,238	1,615
				60		-62	-0,333	-0,234	1,585
11.	16,10	„	12,5	82	-4,1	-55	-0,220	-0,081	1,495
				82		-114	-0,220	-0,168	1,495
				75		-95	—	-0,114	1,635
12.	16,30	„	13,4	120	0,70	307	0,0175	0,145	1,095
				120		302	0,0175	0,143	1,095
				123		312	—	0,136	1,070
13.	16,50	„	14,8	152	5,60	930	0,088	0,216	0,95
				152		926	0,088	0,215	0,95
				152		893	0,088	0,207	0,95
14.	17,10	„	16,8	195	14,00	2475	0,132	0,272	0,846
				195		2430	0,132	0,267	0,846
				195		2296	0,132	0,252	0,8467
15.	17,30	„	14,3	190	16,40	2700	0,164	0,320	0,739
				190		2730	0,164	0,323	0,739
				194		2885	0,158	0,322	0,724

Bei Rückwärtsfahrt, bei der die Wellenbildung durch das dann am vorausfahrenden Heck entstehende Bugwellensystem wesentlich stärker in die Erscheinung tritt, ergaben sich kleinste Fortschrittsgrade von 0,985 bei 9 kn bis zu 1,02 bei 12 kn entsprechend Nachstromgrößen von 3,5 bis zu 7%.

Die sehr zuverlässigen Propellermodellmessungen bei gleichen Reynolds'schen Zahlen im freien Wasser und am Schiffsmodell bieten keinen Anlaß dafür, anzunehmen, daß der über den Schubbeiwert ermittelte Nachstrom anders ist als der über den Momentenbeiwert errechnete. Solange keine Tangentialkomponenten oder allzu große Ungleichförmigkeiten im Zustrom und keine schuberzeugenden Leitgebilde im Bereich des Propellers wirken, besteht auch kein ersichtlicher Grund zu solcher Annahme. Ebenso wenig zeigen die Modellpropellercharakteristiken C_1/C_2 für den Zustand im freien Wasser und am Schiffsmodell irgendwelche Abweichungen, welche über den Grad der Meßgenauigkeit hinausgehen.

3. Der Grundnachstrom ist mit Doppelstaurohr sowohl für Vorausfahrt wie für Rückwärtsfahrt des Schiffsmodells am Ort des Propellers im Schraubenkreis für 13 kn Schiffsgeschwindigkeit gemessen worden, und die Kurven gleichen Nachstromes sind in Abb. 11—12 eingetragen. Für die Vorausfahrt ergibt sich hieraus eine mittlere Eintrittsgeschwindigkeit von $0,88 \times$ Schiffsgeschwindigkeit, für die

Rückwärtsfahrt eine mittlere Eintrittsgeschwindigkeit von $0,96 \times$ Schiffsgeschwindigkeit (Abb. 13). Aus den Schub- und Momentenbeiwerten des freifahrenden Propellers ergibt sich ein Nachstrom für die Vorausfahrt von etwa 14%, für die Rückwärtsfahrt von etwa 6%, sowohl für den Steuerbord- wie für den Backbordpropeller.

Um ein Urteil über die Nachstromschwankungen bei verschiedenen Modellgeschwindigkeiten zu gewinnen, wurden im März 1939 nochmals auf einer Diagonale durch den Schraubenkreis mit dem Doppelstaurohr Kontrollmessungen für den genauen Schiffstiefgang bei den Meßfahrten 1938 ausgeführt.

Der Vergleich mit den früheren Messungen ergab nur geringe Unterschiede von etwa $\pm 1\%$ absolut, welche auch durch die etwas andere Trimmlage gegenüber den früheren Messungen erklärt werden können (Abb. 14, 15 u. 16).

Bei den Vorwärtsfahrten ergaben die Nachstrommessungen bei Modellgeschwindigkeiten unter 1,0 m/s entsprechend 8,5 kn eine höchst beachtenswerte Erscheinung. Während auf Grund der bei abnehmender Geschwindigkeit kleiner werdenden Wellenbildung damit zu rechnen wäre, daß der Nachstrom immer gleichmäßiger und unabhängiger von Geschwindigkeitseinflüssen werden müßte, zeigen sich im Gegenteil bei Geschwindigkeiten unter 0,6 m/s stark anwachsende Nachstromwerte, welche nur auf Strömungsanomalien schließen lassen, wie sie etwa im kritischen Gebiet bei der Kugel auftreten. Ver-

berg“, 17. Mai 1938.
fahrt.

Steuerbord

Fahrt-Nr.	Zeit	Messung von	V_s in kn	N/min	Schub	WPS	C_1	$10 \cdot C_2$	λ_m
1.	12,50	HSVA Blohm & Voss Maihak	4,3	60	1,4	79	0,138	0,298	0,705
				60		85	0,138	0,321	0,705
2.	13,10	„	8,6	115	5,2	485	0,140	0,260	0,735
				115		473	0,140	0,254	0,735
3.	13,30	„	11,1	140	6,4	663	0,111	0,197	0,779
				140		720	0,111	0,214	0,779
4.	13,50	„	7,8	46	-2,65	-49	-0,444	-0,410	1,666
				46		-41	-0,444	-0,343	1,666
				43		-39	-0,508	-0,400	1,782
5.	14,10	„	9,9	59	-3,50	-125	-0,355	-0,495	1,645
				59		-106	-0,355	-0,420	1,645
				60		-128	-0,343	-0,482	1,618
6.	14,30	„	13,1	80	-5,80	-284	-0,321	-0,452	1,607
				80		-257	-0,321	-0,409	1,607
				80		-244	-0,321	-0,387	1,607
7.	14,50	„	11,75	109	0,50	92	0,0149	0,057	1,059
				109		103	0,0149	0,065	1,059
				110		121	0,0146	0,074	1,05
8.	15,10	„	8,7	77	-0,20	50	-0,012	0,089	1,11
				77		30	-0,012	0,054	1,11
				80		43	-0,010	0,068	1,068
9.	15,30	„	7,65	121	7,60	677	0,184	0,311	0,62
				121		622	0,184	0,286	0,62
				124		764	0,175	0,326	0,605
10.	15,50	„	9,7	149	10,70	1218	0,171	0,300	0,639
				149		1230	0,178	0,303	0,639
				152		1440	0,164	0,333	0,626
11.	16,10	„	12,5	187	16,80	2358	0,170	0,297	0,656
				187		2400	0,170	0,303	0,656
				188		2654	0,168	0,325	0,652
12.	16,30	„	13,4	188	15,00	2170	0,151	0,266	0,700
				188		2100	0,151	0,258	0,700
				189		2358	0,150	0,284	0,696
13.	16,50	„	14,8	190	12,55	2010	0,123	0,239	0,764
				190		1870	0,123	0,222	0,764
				190		2076	0,123	0,246	0,764
14.	17,10	„	16,8	196	10,10	1760	0,093	0,190	0,842
				196		1660	0,093	0,179	0,842
				196		1853	0,093	0,200	0,842
15.	17,30	„	14,3	132	-0,70	100	-0,014	0,036	1,065
				132		85	-0,014	0,030	1,065
				130		66	-0,015	0,025	1,081

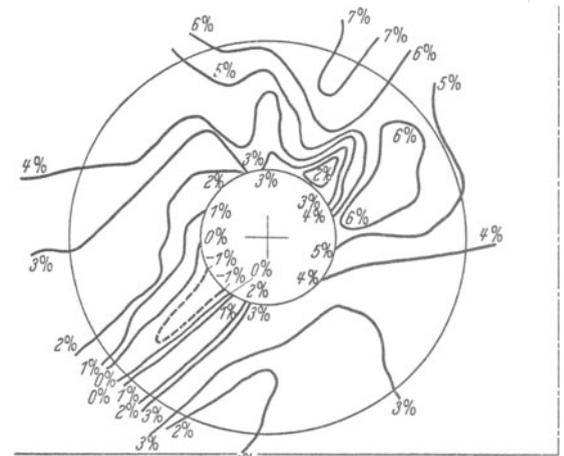


Abb. 12. Linien gleich hohen Nachstroms in % der korrespondierenden Schiffsgeschwindigkeit. — Rückwärtsfahrt.

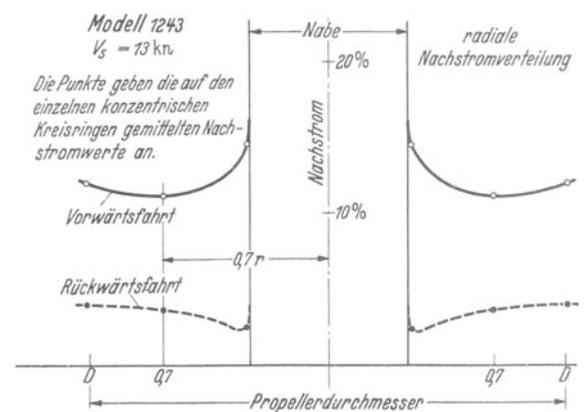


Abb. 13.

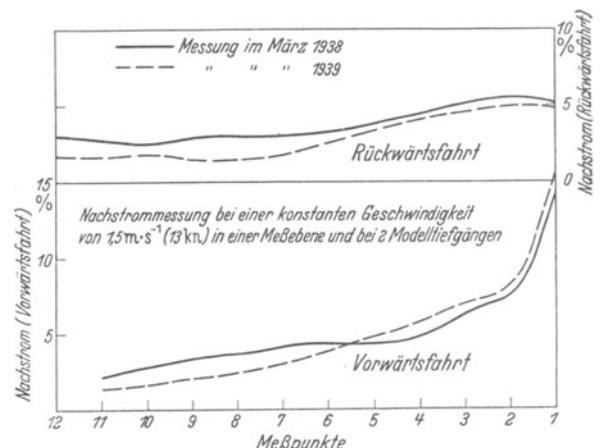


Abb. 14.

gleichet man nun die Reynolds'sche Zahl für das Modell, indem man als Längenmaß die Modellbreite einsetzt, so ergibt sich eine Zahl von $\frac{0,5 \cdot 0,775 \cdot 10^6}{1,15}$, d. h. $R = 3,36 \cdot 10^5$, welche in den kritischen Bereich solcher Körper fällt. Man erkennt hieraus, wie sehr man darauf bedacht sein muß, diesen Bereich zu meiden, wenn man zutreffende Ergebnisse aus Modellversuchengewinnen will und wie leicht man derartige Zustände durch Nachstrommessungen feststellen kann.

Bei den Rückwärtsfahrten zeigte sich zwar scheinbar ein ähnlicher Verlauf, dieser ist jedoch der zutreffende Ausdruck für den auch am Schiff herrschenden Strömungszustand aus der Bugwellen-

bildung. Immerhin zeigt dieses Meßergebnis, daß die Rückwärtsfahrt kein so ideales Mittel zum Vergleich zwischen Modell und Schiff ist, als welches sie vorher erschienen war, weil durch die starke Wellenbildung die Strömungsgeschwindigkeiten am Ort der Propeller von den Orbitalgeschwindigkeiten beeinflußt werden.

c) Die Schiffsmessungen,

die nun zu besprechen sind, waren so angelegt, daß ein möglichst großer Slipbereich für jede Schraube gemessen werden konnte. In der Tabelle sind alle Meßwerte der 27 Fahrten eingetragen, und zwar für jede Fahrt meist drei Meßwerte, welche jeweils die von den drei Meßgruppen der Schiffbauversuchsanstalt, Blohm & Voss und H. Maihak unabhängig voneinander gemessenen Werte angeben. Die Messungen dauerten von 12.50 bis 22.25 Uhr, d. h. fast 10 Stunden. Das Schiff fuhr in der Nähe der Insel Bornholm bei gutem Wetter.

See: glatt,
Wind: 0—1,
Wasser: 10° C,
Luft: 15—12° C,
Luftdruck: 760 mm.

In der Abb. 17 sind die Propellerumdrehungen bei jeder Meßfahrt für den Steuerbord- und Backbordpropeller eingetragen und die Kurven gleicher Schiffsgeschwindigkeiten für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt eingezeichnet, woraus sich ein Bild von dem Bereich der Messungen ergibt.

Da sich bei der Auswertung der Probefahrten von 1937 gezeigt hatte, daß die Zwischenzeiten zwischen je zwei Fahrten nicht genügt hatten, um konstante Zustände zu erhalten, wurden diese Zwischenzeiten 1938 wesentlich verlängert, sie betragen durchschnittlich etwa 20 Minuten und wurden selbst bei Fahrt auf geradem Kurs gebraucht, um nach Einregelung einer neuen Tourenzahl konstante Schübe und Momente bei konstanter Geschwindigkeit sicherzustellen.

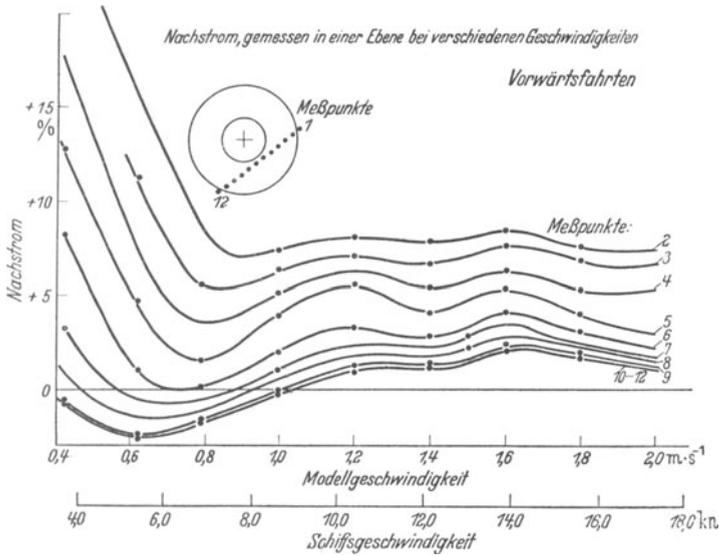


Abb. 15.

Meßfahrt „Tannenberg“
Rückwärts

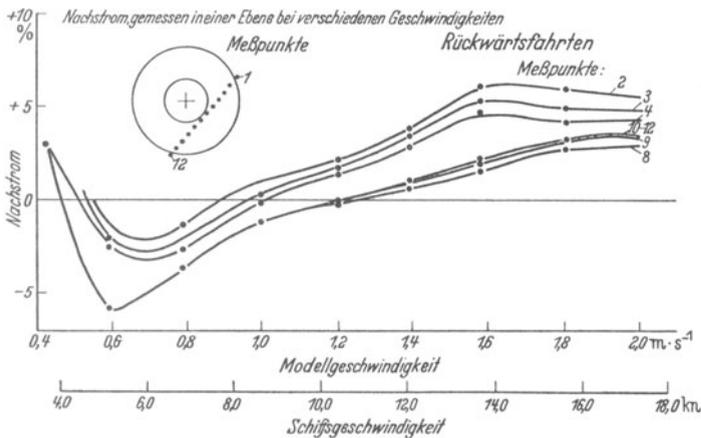


Abb. 16.

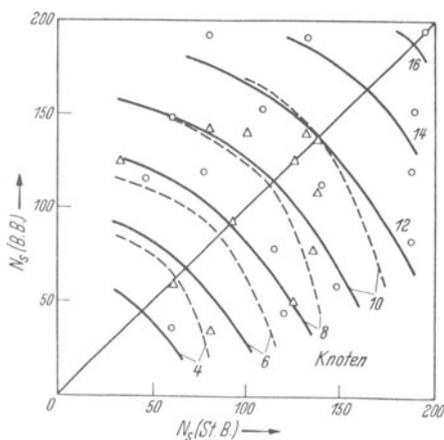


Abb. 17. Umdrehungen der St.-B.- und B.-B.-Propeller bei den Meßfahrten des Schiffes 1938.

Kurven der Isotachen vorwärts —○—
rückwärts - -△-

Backbord									
Fahrt Nr.	Zeit	Messung von	V _s in kn	N/min	Schub	WPS	C ₁	10 · C ₂	λ _m
16.	18,10	HSVA	3,56	59	1,3	24	0,132	—	0,593
		Blohm&Voss		59		60	0,132	0,238	0,593
		Maihak		59		63	0,132	0,250	0,593
17.	18,30	„	6,50	92	2,16	110	0,092	—	0,694
				92		174	0,092	0,182	0,694
				96		184	0,083	0,169	0,664
18.	18,50	„	9,28	125	3,45	235	0,078	—	0,729
				125		419	0,078	0,175	0,729
				130		455	0,072	0,169	0,701
19.	19,10	„	—	137	7,15	367	—	—	—
				137		664	—	—	—
				142		752	—	—	—
20.	19,40	„	4,42	34	2,70	—17	0,826	—0,353	1,262
				34		—15	0,826	—0,311	1,262
				35		—12	0,780	—0,228	1,240
21.	20,00	„	7,40	50	1,50	—76	—0,213	—0,494	1,453
				50		—63	—0,213	—0,410	1,453
				53		—63	—0,190	—0,344	1,370
22.	20,20	„	8,49	78	—	—63	—	—0,108	1,069
				78		—43	—	—0,074	1,069
				82		—25	—	—0,037	1,015
23.	20,40	„	9,28	108	1,30	70	0,0396	—	0,843
				108		137	0,0396	0,088	0,843
				108		143	0,0396	0,092	0,843
24.	21,25	„	8,32	140	7,55	937	0,1355	0,278	0,584
				140		950	0,1355	0,282	0,584
				141		987	0,1335	0,286	0,578
25.	21,45	„	8,89	138	6,75	855	0,125	0,264	0,633
				138		848	0,125	0,262	0,633
				143		902	0,123	0,252	0,610
26.	22,10	„	—	140	5,40	700	—	—	—
				140		660	—	—	—
				142		728	—	—	—
27.	22,25	„	6,28	123	6,75	701	0,158	0,306	0,501
				123		628	0,158	0,298	0,501
				120		707	0,172	0,332	0,514

Aus den einzelnen Meßwerten sind die Schub- und Momentenbeiwerte errechnet und in die Kurvenblätter der Modellversuche eingetragen worden. Es zeigt sich, wie zu erwarten war, daß die Messungen im Bereich kleiner und negativer Schübe und Momente streuen. Hierfür sind die Meßapparate nicht gebaut, es machen sich im Drehmoment bei langsam laufender Welle Reibungseinflüsse bemerkbar, wie dies übrigens bei den Drehmomentmessungen am Modell ebenso der Fall ist.

Am wichtigsten waren die Messungen am Steuerbordpropeller, dem völlig symmetrischen Meßrad. Diese Meßwerte des naturgroßen Propellers bei Vorausfahrt zeigen weder im Drehmoment noch im Schub eine über den Grad der Meßgenauigkeit hinausgehende Abweichung von der am Modell gemessenen Kurve. Die Messungen schwanken um diese Modellkurve herum und geben zugleich ein Bild der erreichbaren Meßgenauigkeit. Es konnten auch noch einige im Jahr 1937 gemessene Werte in die C_1/C_2 -Kurven eingetragen werden. Sie zeigen gute Übereinstimmung mit den Messungen von 1938, während die Geschwindigkeitsmessungen 1937 unter der Vereisung des Schleppdrahtes gelitten hatten.

Ebenso liegen die Meßwerte der Momente für den gleichen Steuerbord-Meßpropeller bei Rückwärtsfahrt ausgezeichnet auf der Modellkurve, während die Schubmessungen bei Rückwärtsfahrt meist zu hohe Werte geliefert haben.

Beim Backbordpropeller befriedigen bei Vorausfahrt die Torsionsmessungen ebenfalls; die Schubmessungen bei Vorausfahrt ergaben offenbar zu niedrige Werte, während sie bei Rückwärtsfahrt gut auf der Modellkurve liegen.

Hierzu ist allgemein zu bemerken, daß die Federung der Schubdosen sicherheitshalber für Schübe bis zu 32 t gewählt war, daß aber höchstens etwa 16 t gemessen wurden; die Registrierung hatte für 1 t einen Ausschlag von 2,09 mm. Es ist daher erklärlich, daß die Genauigkeit nur $\pm 0,5$ t betrug und bei kleinen Schüben wohl noch

schlechter war. Die Ableseschwankungen während der Messung selbst waren nur sehr gering, und die Schubregistrierung war gut konstant.

Aus der Addition der Schübe läßt sich eine Kurve der Gesamtschübe aufzeichnen, welche indessen, da die Backbordschübe zu klein registriert wurden, um etwa 500 kg zu niedrig liegen mag (Abb. 18). Dies ergibt sich aus dem Vergleich der Gesamtschübe bei etwa gleichen Geschwindigkeiten, wenn entweder die Steuerbordschraube oder die Backbordschraube den überwiegenden Schubanteil aufzubringen hatte. Die Messungen kontrollieren sich auf diese Weise gegenseitig.

d) Vergleich der Leistungen für Schiff und Modell.

Für das Modell 1243 der „Tannenberg“, das aus Holz im Maßstab 1:20 ausgeführt war, liegen zwei Reihen Propulsionsergebnisse mit Froude'scher Reibungskorrektur vor, nämlich

1. für einen gleichlastigen Tiefgang von 4,50 m, für eine Verdrängung von 4664 m³, mit zwei gleichen Propellern Nr. 1242 aus dem Jahre 1934;

2. für einen 0,05 m steuerlastigen mittleren Tiefgang von 4,076 m, für eine Verdrängung von 4130 m³, mit einem Backbordpropeller Nr. 1242 und einem Steuerbordpropeller, dem symmetrischen Meßrad Nr. 2003, aus dem Jahre 1937.

Für das Schiff liegen die Fahrtergebnisse der Meßfahrt vom 17. Mai 1938 vor für einen 0,05 m steuerlastigen mittleren Tiefgang von 4,375 m, für eine Verdrängung von 4500 m³, mit einem Backbordpropeller Nr. 1242 und einem Steuerbordpropeller, dem symmetrischen Meßrad Nr. 2003. Diese liefern:

a) Die Meßwerte einer Propulsivfahrt mit 195,5 Touren bei einer Geschwindigkeit von 16,8 kn im glatten Wasser bei Windstille;

b) die erforderlichen Gesamtschübe für Geschwindigkeiten von 8—17 kn, welche den Schiffswiderständen zuzüglich Sog, welcher bei diesem Schiff nach dem Modellversuch konstant 4 1/2 % beträgt, entsprechen und mit den Gesamtschüben der Modellversuche aus den Jahren 1934 und 1937 zu vergleichen sind unter Berücksichtigung der Verdrängungsunterschiede und des Wind- und Temperatureinflusses.

Der scheinbare Fortschrittsgrad errechnet sich nach der Schiffsmessung aus:

$$\frac{v}{n \cdot D} = \frac{16,8 \text{ kn}}{195,5 \cdot 3140 \text{ mm}} = 0,844$$

berg“. 17. Mai 1938.
f a h r t.

Steuerbord

Fahrt Nr.	Zeit	Messung von	V _s in kn	N/min	Schub	WPS	C ₁	10 · C ₂	λ _m
16.	18,10	HSVA Blohm & Voss Maihak	3,56	59	1,5	52	0,153	0,206	0,592
				59		45	0,153	0,178	0,592
				57		40	0,164	0,176	0,613
17.	18,30	„	6,50	92	3,2	185	0,134	0,194	0,694
				92		187	0,134	0,196	0,694
				92		187	0,134	0,196	0,694
18.	18,50	„	9,28	126	6,65	538	0,148	0,219	0,723
				126		550	0,148	0,224	0,723
				128		551	0,144	0,214	0,712
19.	19,10	„	—	136	7,75	674	—	—	—
				136		700			
				138		759			
20.	19,40	„	4,42	80	3,85	169	0,213	0,268	0,542
				80		169	0,213	0,268	0,542
				80		256	0,213	0,406	0,542
21.	20,00	„	7,40	124	8,80	655	0,202	0,279	0,587
				124		668	0,202	0,284	0,587
				123		678	0,205	0,296	0,590
22.	20,20	„	8,49	135	9,65	827	0,188	0,273	0,617
				135		850	0,188	0,281	0,617
				135		929	0,188	0,307	0,617
23.	20,40	„	9,28	138	9,10	779	0,169	0,241	0,661
				138		767	0,169	0,237	0,661
				136		821	0,174	0,266	0,670
24.	21,25	„	8,32	78	—0,6	16	—0,036	0,028	1,047
				78		20	—0,036	0,0344	1,047
				78		9	—0,036	0,0154	1,047
25.	21,45	„	8,89	100	3,00	155	0,106	0,126	0,873
				100		167	0,106	0,136	0,873
				100		158	0,106	0,129	0,873
26.	22,10	„	—	122	6,20	441	—	—	—
				122		423			
				125		479			
27.	22,25	„	6,28	31	—1,40	—42	—0,520	—1,150	1,980
				31		—40	—0,520	—1,095	1,980
				30		—46	—0,555	—1,390	2,054

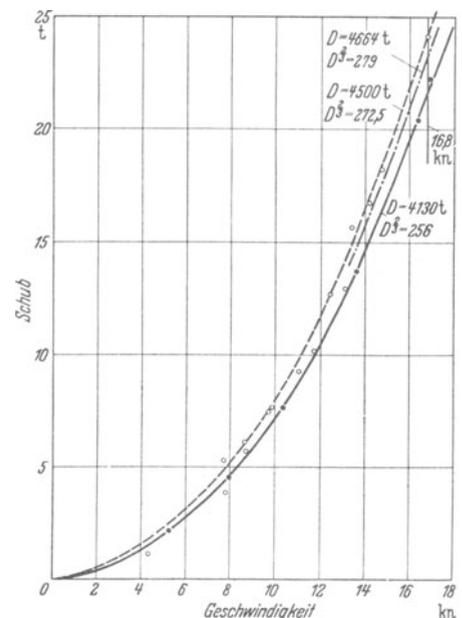


Abb. 18. Vergleich der Schubmessungen von D. „Tannenberg“ o - - - o, mit den Modellmessungen 1934 - - - - - und 1937 — — — — —, mit Modell Nr. 1243 in der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt.

Der wirkliche Fortschrittsgrad nach den Freifahrtkurven der Modellpropeller für gleiche C_1 - und C_2 -Werte der Propeller

$$\frac{v}{n \cdot D} = 0,725.$$

Propellerwirkungsgrade aus den C_1 - und C_2 -Werten für den Backbordpropeller

$$\eta_p = \frac{v_e}{2 \pi n \cdot D} \cdot \frac{C_1}{C_2} = \frac{0,725}{6,28} \cdot \frac{0,145}{0,0262} = 0,637,$$

für den Steuerbordpropeller

$$\eta_p = \frac{v_e}{2 \pi n \cdot D} \cdot \frac{C_1}{C_2} = \frac{0,725}{6,28} \cdot \frac{0,100}{0,019} = 0,608,$$

für beide Propeller (Backbord + Steuerbord)

$$\eta_p = 0,625.$$

Verlust am Gesamtwirkungsgrad durch den Steuerbordpropeller

$$\frac{0,625}{0,637} = 0,98, \text{ d. h. } 2\%.$$

Reibungseinfluß des Stopfbuchsenlagers 0,99, d. h. 1%.

Windeinfluß bei Windstärke B = 0,975, d. h. 2 1/2%.

Temperatureinfluß des Wassers bei 10° C 0,988, d. h. 1,2% gegen 15° C.

WPS am Schiff vor dem Stevenrohr gemessen 4155 PS.

WPS am Propeller $4155 \times 0,99 \times 0,975 \times 0,988 = 3970$.

$$C_w = \frac{D^{2/3} \cdot V^3}{\text{WPS}}; \quad D = 4500, \quad D^{2/3} = 272,5$$

$$V = 16,8 \text{ kn}, \quad V^3 = 4750.$$

$$C_w = \frac{272,5 \cdot 47500}{3970} = 326.$$

C_w beim Modellversuch 1937 für $D = 4130 \text{ t}$, $D^{2/3} = 256$, $C_w = 326$.

C_w beim Modellversuch 1934 für $D = 4664 \text{ t}$, $D^{2/3} = 279$, $C_w = 370$.

Beim Modellversuch 1934 waren jedoch zwei gleiche Propeller mit 0,637 Gesamtwirkungsgrad benutzt, der C_w -Wert muß also zum Vergleich um 2% reduziert werden auf $C_w = 0,98 \cdot 370 = 362$.

Der äquivalente C_w -Wert für $D = 4500 \text{ t}$ errechnet sich für die Modellversuche: $C_w = 351$. Gemessen ist am Schiff $C_w = 326$. Der Unterschied $326/351 = 0,928$, d. h. 7,2% ist nun nur nach der größeren Rauigkeit der Schiffsoberfläche gegenüber den mit Hilfe der Froude'schen Reibungskorrektur errechneten Leistungswerten zuzuschreiben.

Vergleich der Schubmessungen.

Der Unterschied der $D^{2/3}$ -Werte der Modellversuche 1937 und 1934 beträgt $256/279$, d. h. 8%.

Dies entspricht auch etwa dem Schubunterschied bei beiden Modellversuchen. Die Schubmessung des Schiffes muß zunächst um den Temperatur- und Fahrtwindeinfluß vermindert werden, bei 16,8 kn beträgt also der Vergleichsschub $24,1 \times 0,975 \times 0,988 = 23,2 \text{ t}$. Dieser muß zum Vergleich mit der Modellschubkurve für 1937 um den Unterschied der $D^{2/3}$ -Werte erhöht werden, also um

$$\frac{279}{272,5} = 1,025,$$

d. h. auf $23,2 \cdot 1,025 = 23,8 \text{ t}$.

Der Schubunterschied beträgt dann

$$\frac{23,0}{23,8} = 0,965,$$

d. h. 3 1/2%. Wenn man bedenkt, daß die Backbordschübe sicher zu niedrig gemessen sind, und die Ungenauigkeit der Messung etwa

$\pm 0,5 \text{ t}$ beträgt, so ist die Rauigkeit, die sich aus der Schubmessung ergibt, ebenfalls mit mindestens 6% zu bewerten.

Nimmt man die zusätzliche Rauigkeit der „Tannenberg“ hier nach mit 7%, bezogen auf den Gesamtwiderstand, an, so beträgt sie, bezogen auf den Reibungswiderstand, 11%.

Bei einer äquivalenten Sandrauhigkeit von 0,1 mm würde der Zuschlag nach den von Weitbrecht gegebenen Tabellen 5% betragen, für 0,2 mm bereits 20%. Der gemessene Wert von 11% Zuschlag entspricht somit einer äquivalenten Sandrauhigkeit von 0,14 mm.

Aus amerikanischen Probefahrtmessungen von Schönherr hatte sich für die werftneue Außenhaut der „Clairton“ eine äquivalente Sandrauhigkeit von 0,16 mm ergeben.

III. Folgerungen.

Auf Grund dieser Meßergebnisse mit dem D. „Tannenberg“ und seinem Modell im Maßstab 1:20 sind wir somit in der Lage, den Reibungsbeiwert der Schiffsoberfläche zuverlässig zu ermitteln. Ein Mittelwert von 0,15 mm erscheint für sorgfältig gebaute Handelsschiffe in werftneuem Zustand ein Wert zu sein, mit welchem man zuverlässig rechnen kann.

Die Meßergebnisse der naturgroßen Schrauben bestätigen weitgehend die Modellpropellerkurven. Das bedeutet, daß weder bei Rückwärtsfahrt, wo kein Reibungsnachstrom besteht, noch bei der Vorfahrt ein merkbarer Maßstabeffekt auf die Nachstromwirkung beim Schiff im Vergleich zum Modell eingetreten ist, denn dieser hätte sich in einer Verkleinerung des Schiffsnachstromes gegenüber dem Modellnachstrom ausdrücken müssen.

Dies mag dadurch erklärt werden, daß auch bei Vorfahrt der größte Teil des Reibungsnachstromes am Schiffskörper entlangströmt und kaum merkbar in den Bereich des Schraubenkreises hineinreichen wird.

Es bedeutet ferner, daß auch bei den Schub- und Momentenwerten kein Maßstabseinfluß bemerkbar wird. Dies erklärt sich daraus, daß einerseits die Modellpropeller im überkritischen Bereich untersucht sind, und daß andererseits der Rauigkeitsgrad der Flügeloberfläche der naturgroßen Bronzpropeller etwa einer äquivalenten Sandrauhigkeit entspricht, welche denselben Reibungsbeiwert hat wie die glatten Modellpropeller bei ihrer kleineren Reynoldsschen Zahl.

Somit werden durch diese erstmalig in solchem Umfang durchgeführten Vergleichsmessungen eines Schiffmodells mit dem naturgroßen Schiff und seinen Schrauben die letzten noch bestehenden Unklarheiten und Unsicherheiten bei der Übertragung der Modellwerte auf das Schiff und seine Schrauben ausgeräumt und klargestellt, und damit ist eine zuverlässige, auch theoretisch einwandfreie Grundlage gegeben für die Übertragbarkeit von Modellversuchsergebnissen auf die naturgroße Wirklichkeit mindestens für Doppelschraubenschiffe mit Wellenböcken von der Art des Dampfers „Tannenberg“.

Schrifttum.

1. Kempf, G.: Neue Ergebnisse der Widerstandsforschung. Werft Reed. Hafen 1929, Heft 11/12. — Prandt, L. und H. Schlichting: Das Widerstandsgesetz rauher Platten. Werft Reed. Hafen 1934, Heft 1. — Kempf, G.: Über den Einfluß der Rauigkeit auf den Widerstand von Schiffen. Jb. schiffbautechn. Ges. 1937. — Schulenberg, H.: Vergleichsversuche mit zwei Schiffen. Werft Reed. Hafen 1937, Heft 22.
2. Kempf, G.: Rauigkeits- und Kennzahleinfluß bei Schiffschrauben. Werft Reed. Hafen 1938, Heft 11.
3. Vgl. Berendt, E.: Z. VDI Bd. 79 (1935) S. 587.