

# SCHIFFBAUFORSCHUNG

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE SCHRIFTENREIHE

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

Delft University of Technology  
Ship Hydromechanics Laboratory  
Library

Mekelweg 2, 2628 CD Delft  
The Netherlands

Phone: +31 15 2786873 - Fax: +31 15 2781836

## Versuche mit Modellen von See-Eimerbaggern

Aus dem Institut für Theorie des Schiffes der Technischen Fakultät an der Universität Rostock.

Direktor: Prof. Dipl.-Ing. K. Th. Braun

Von Dipl.-Ing. W. Messerschmidt, KDT, Rostock

### 1. Einleitung

*Die schiffstheoretischen Probleme bei Baggergeräten sind in der Literatur bisher nur wenig behandelt worden. In der Vergangenheit genügte das Arbeitsgerät allein, das auf einen mehr oder minder schiffsartigen „Untersatz“ gesetzt wurde; die neuere Entwicklung drängt aber gebieterisch auf die Kombination eines guten Arbeitsgerätes mit einem brauchbaren Schiffskörper. Die nachfolgenden Arbeiten, die Mitarbeiter des Instituts für Theorie des Schiffes (ITS) der Universität Rostock auf Grund der von ihnen durchgeführten Modellversuche abgefaßt haben, behandeln zwei der wichtigsten Teilprobleme, den Widerstand und die Manöviereigenschaften. Dabei hat sich mehrfach die Gelegenheit ergeben, besondere Probleme des schiffstechnischen Modellversuchswesens, zumal mit kleinen Modellen, zu berühren und zu einigen allgemein interessierenden, besonderen Problemen dieses Fachgebietes Beiträge zu liefern.*

*Prof. Dipl.-Ing. K. Th. Braun*

## Teil A: Schleppversuche

### 1.1. Allgemeines

Jeder Bagger stellt einen Kompromiß zwischen Arbeitsgerät und Schiff dar. Die ersten Seebagger wurden ausschließlich als schwimmende Arbeitsgeräte gebaut. Sie besaßen keinen eigenen Antrieb, da sie in den meisten Fällen nur kurze Strecken zwischen Einsatzort und Heimathafen zurückzulegen brauchten. Vom maschinenbaulichen Standpunkt lag ohnehin durch zunächst alleiniges Vorhandensein der Kolbendampfmaschine und den damit verbundenen hohen Kohleverbrauch eine Bremse für die Entwicklung relativ schneller Fahrzeuge mit größerem Aktionsradius vor. Mit zunehmender Zahl der Hafen- und Seekanalbauten stieg der Bedarf an größeren und leistungsfähigeren Baggern. Während bei Pumpenbaggern mit Eigenantrieb die Unterwasserform des Schiffskörpers, abgesehen von der Anordnung eines Schlitzes für das Saugrohr, den damals (um 1900 bis 1910) üblichen Schiffsformen einschließlich Ruder- und Propelleranordnung entsprach, besaßen nicht einmal alle großen Eimerkettenbagger eigenen Antrieb oder schiffsähnliche Form, sondern sind oft als Prahm mit eckiger Kimm und leicht abgeschrägter Vor- sowie stärker geneigter Hinterkante ausgeführt worden. In vielen Fällen erfolgte der Antrieb der Schraube mittels der Baggermaschine ohne Einbau besonderer Fahrmaschinen [1]. Maßgebend dürfte hierfür der Wunsch nach Unabhängigkeit von Schlepperhilfe gewesen sein, da Schlepper zwar vielfach gleichzeitig mit dem Bagger bestellt, später aber als autonome Geräte oft zu anderen Bauteilen oder Verwendungszwecken abgezogen worden sind. Allmählich bürgerten sich moderne Schiffsantriebe bei allen Seebaggertypen ein, die außer der günstigeren Raumverteilung beim Projektieren vor allem

für die beweglichen Saugbagger bessere Fahrteigenschaften ergaben. In neuerer Zeit scheint sich der diesel-elektrische Antrieb wegen seiner zahlreichen Vorzüge (außer den bekannten betrieblichen Vorteilen, vor allem freie Wahl der Massenverteilung Generator-Motor) sowohl bei Saug- als auch bei Eimerbaggern zumindest in Europa durchzusetzen. Als nach dem 2. Weltkrieg eine Erneuerung der Baggerflotten erforderlich wurde, änderte sich gleichfalls die Silhouette der neugebauten Seebagger wesentlich. Moderne großräumige Aufbauten, zu denen bei Eimerbaggern die große Eimerleiter in einem gewissen Kontrast steht (Bild 1 aus [2]), sind ein besonderes Kennzeichen dafür. In dieser Arbeit soll nicht

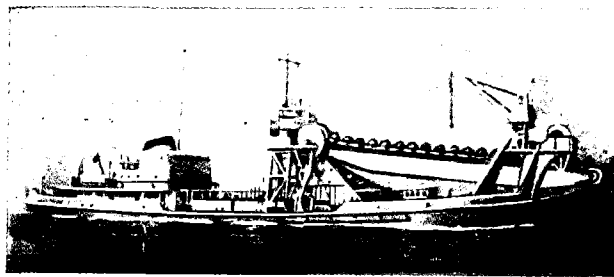


Bild 1. In Schottland für Neuseeland gebauter See-Eimerbagger „W. H. Orbell“  
(Foto aus Shipb. Shipping Rec. [2]).

untersucht werden, ob ein See-Eimerbagger grundsätzlich als klassisches Baggergerät anzusehen ist oder ob er im Verlauf der weiteren technischen Entwicklung seinen Platz als wirtschaftlich arbeitendes Gerät für schwere Böden behauptet. Obwohl ein Saugbagger durch

die Seegangsfolgeeinrichtung in jedem Fall den Baggerbetrieb aufrechterhalten kann, wenn der Eimerbagger bereits pausieren muß, dürfte seine Anwendung auch beim Vorhandensein eines Schneidkopfes nur für leichte bis mittlere Böden wirtschaftlich sein.

Ein beachtlicher Anteil der auf europäischen Werften nach dem Jahre 1945 gebauten Seebagger wurde in überseeische Länder exportiert, deren Küsten meist eine größere Länge als bei europäischen Ländern aufweisen und deren Häfen oft weit voneinander entfernt liegen. Dadurch änderte sich das Verhältnis Versetzfahrzeit zu Arbeitszeit, so daß eine gewisse Erhöhung der Geschwindigkeit und des Aktionsradius gegenüber früheren Entwürfen festgestellt werden kann. Auch die damit verbundenen Überführungsfahrten bedingen bei wirtschaftlicher Durchführung mit eigener Kraft gute Fahrteigenschaften und Seetüchtigkeit. Da inzwischen die Erforschung von Widerstand und Propulsion für übliche Schiffsformen ausreichende Entwurfsunterlagen vermittelte, wurde allen Spezialschiffen in Versuchsanstalten mehr Aufmerksamkeit gewidmet und so auch die Unterwasserform einiger Seebagger durch Schleppversuche verbessert.

### 1.2. Widerstandsbestimmung für Seebagger

Die für eine Bestimmung des Fahrtwiderstandes von Seebaggern veröffentlichten Unterlagen besitzen allerdings noch recht beschränkte Gültigkeit und einen geringen Umfang. Die Verbesserung der Schiffsform von Neubauten erfolgte durch Einzelversuche. Äußerungen mit allgemeiner Gültigkeit, die jedoch manchmal nur Einschätzungen darstellen, sind verstreut in den Beschreibungen der Neubauten enthalten, deren Schiffsform durch Modellversuche entwickelt wurde. Sie betreffen zudem noch eher die Wellen- bzw. Maschinenleistung als den Widerstand.

In [3] und [4] sind derartige Literaturstellen, jedoch keine vollständigen Versuchsergebnisse enthalten. Zum Widerstand von Saugbaggern nahm *v. Marnitz* kurz im Rahmen eines Vortrages mit allgemeiner Thematik [5] Stellung. Vom gleichen Verfasser stammt die Arbeit [6], mit deren Hilfe dem Projektierenden wenigstens unter Vorbehalt der geometrischen Ähnlichkeit eine überschlägige Leistungsbestimmung für Schwimmbagger, Schuten und Prähme ermöglicht wird, während diese sonst nur nach [1] möglich war. Die Ermittlung der Propulsionsverhältnisse nach der englischen oder gar französischen Formel ist jedoch seit längerer Zeit als unzulänglich bekannt und wurde auch von *v. Marnitz* selbst [6] so eingeschätzt. Er betonte, daß sichere Widerstandswerte für derartige Schwimmkörper nur durch systematische Schleppversuche zu erhalten wären. Dieser Weg wird bei üblichen Schiffsformen bereits seit längerer Zeit beschritten. Die erste veröffentlichte systematische Schleppversuchsreihe mit dem Modell eines See-Eimerbaggers betraf den Einfluß der Schlitzabmessungen auf den Widerstand. Ihre Unterlagen wurden im Rahmen der Diplomarbeiten von *Morgenroth*, *Rohde* und *Spindler* am Institut für Theorie des Schiffes (ITS) der Universität Rostock erarbeitet und von *Braun* in [7, 2. Beitrag] veröffentlicht. Die umfangreichen Versuche sind noch in der provisorischen Schleppversuchsanlage des ITS durchgeführt worden, die *Bossow* projektierte und in [8] beschrieb. Die Ergebnisse dieser Versuche interessierten vor allem den VEB Roßlauer Schiffswerft. Nach Fertigstellen der neuen Schiffbautechnischen Fakultät und Übernahme der Schleppversuchsanlage durch das ITS wurden im Rahmen eines Forschungsauftrages des VEB Roßlauer Schiffswerft Widerstandsversuche durchgeführt, über die im folgenden berichtet wird.

## 2. Versuchsdurchführung und Umrechnung der Versuchsergebnisse

### 2.1. Versuchsprogramm, Versuchsdurchführung

#### 2.1.1. Versuchsprogramm

Die systematischen Schleppversuche wurden mit einer Standardschiffsform durchgeführt, bei deren Entwurf der VEB Roßlauer Schiffswerft langjährige Betriebserfahrungen und Ergebnisse theoretischer Untersuchungen berücksichtigte. Das Arbeitsprogramm der Werft sah unter Verwenden dieser nur unwesentlich veränderten Standardform vor, den Einfluß der Schlitz-

Tafel 1. Versuchsprogramm

Ver-such	Schlitz-lage	Schlitz-abschluß	Schlitz-kimm	Eimer-leiter	mitt-lerer Tief-gang	Trimm	Anhänge
1	Heck	1	eckig	ohne	1	ohne	ohne
2	Heck	1	eckig	ohne	2	ohne	ohne
3	Heck	1	eckig	ohne	3	ohne	ohne
4	Heck	1	eckig	Pos. A	1	ohne	ohne
5	Heck	1	eckig	Pos. A	2	ohne	ohne
6	Heck	1	eckig	Pos. A	3	ohne	ohne
7	Heck	1	eckig	Pos. B	1	ohne	ohne
8	Heck	1	eckig	Pos. B	2	ohne	ohne
9	Heck	1	eckig	Pos. B	3	ohne	ohne
10	Heck	1	eckig	Pos. C	1	ohne	ohne
11	Heck	1	eckig	Pos. C	2	ohne	ohne
12	Heck	1	eckig	Pos. C	3	ohne	ohne
13	Heck	2	eckig	ohne	2	ohne	ohne
14	Heck	3	eckig	ohne	2	ohne	ohne
15	Heck	4	eckig	ohne	2	ohne	ohne
16	Heck	1	eckig	ohne	2	achterlastig	ohne
17	Heck	1	eckig	ohne	2	vorlastig	ohne
18	Heck	1	eckig	Pos. A	2	achterlastig	ohne
19	Heck	1	eckig	Pos. A	2	vorlastig	ohne
20	Bug	1	eckig	ohne	1	ohne	ohne
21	Bug	1	eckig	ohne	2	ohne	ohne
22	Bug	1	eckig	ohne	3	ohne	ohne
23	Bug	2	eckig	ohne	1	ohne	ohne
24	Bug	2	eckig	ohne	2	ohne	ohne
25	Bug	2	eckig	ohne	3	ohne	ohne
26	Bug	2	eckig	Pos. A	1	ohne	ohne
27	Bug	2	eckig	Pos. A	2	ohne	ohne
28	Bug	2	eckig	Pos. A	3	ohne	ohne
29	ohne	—	eckig	—	1	ohne	ohne
30	ohne	—	eckig	—	2	ohne	ohne
31	ohne	—	eckig	—	3	ohne	ohne
32	Heck	4	eckig	ohne	2	ohne	Wellenhosen
33	Heck	5	eckig	ohne	(2)	ohne	Wellenhosen
34a	Heck	6	eckig	ohne	(2)	ohne	Wellenhosen
34b	Heck	6	rund	ohne	(2)	ohne	Wellenhosen

lage, des Schlitzabschlusses und der Eimerleiter auf den Widerstand zu klären, wobei verschiedene Tiefgänge und Trimmlagen berücksichtigt werden sollten. Die erste Versuchsreihe umfaßte 19 Versuche mit Heckschlitz, eine weitere 9 Versuche mit Bugschlitz und die letzte 3 Versuche mit der schlitzlosen Form. Nach deren Abschluß wurden mit dem am ITS verbliebenen Modell im Einvernehmen mit dem VEB Roßlauer Schiffswerft vier Zusatzversuche durchgeführt, die zur weiteren Klärung des Einflusses dienen sollten, den der Schlitzabschluß der Heckschlitzform auf den Widerstand besitzt. Eine Übersicht über die durchgeführten Versuche vermittelt Tafel 1, wobei die der jeweiligen Untersuchung zugrunde gelegten Einflußgrößen stark umrahmt worden sind, um deren Variation schnell erkennen zu können. Die Versuche sollten einen Geschwindigkeitsbereich des Schiffes  $2 \leq V [kn] \leq 11$  umfassen, wobei besonderer Wert auf den Bereich um  $V = 8$  kn (Dienstgeschwindigkeit) gelegt wurde. Bei den Versuchen mit abgesenkter Eimerleiter ist die obere Grenze des Geschwindigkeitsbereichs unter Berücksichtigung eines Maximalwiderstandes reduziert worden. Im Bereich der höheren Geschwindigkeiten sollten die längs des Modells entstandenen Wellenprofile fotografiert werden.

### 2.1.2. Schiffsform und Eimerleiter

Die entsprechende Schiffsform ist aus den Bildern 2 und 3 ersichtlich. Die Schiffsform ohne Schlitz besteht aus dem Vorschiff nach Bild 2 und dem Hinterschiff nach Bild 3. Zugehörige Schlitzabschlüsse sind den Bildern 4, 19, 21 und 22 zu entnehmen. Die Hauptdaten der Schiffe enthält Tafel 2. Die grundsätzliche Anordnung der Eimerleiter für die Heckschlitzform zeigt Bild 5.

### 2.1.3. Schlepmodelle

Die aus Holz in üblicher Schichtbauweise hergestellten Schlepmodelle sind im Modellmaßstab  $\lambda = 18$  vom VEB Roßlauer Schiffswerft fertig an das ITS geliefert worden. Die wichtigsten Modelldaten werden der Vollständigkeit halber in Tafel 3 angegeben. Wegen des langen parallelen Mittelschiffes war es dem Modellbauer möglich, eine Einsparung von Material und Zeit durch Aufteilen jeder zu untersuchenden Form in drei Modellsektionen vorzunehmen. Dem Bearbeiter ist aus der Literatur nur eine Kombination von Modellhälften bekannt. Die Stöße befanden sich zwischen Hinter- und Mittelschiff auf Spt 7 und zwischen Mittel- und Vorschiff auf Spt 13. Die Verbindung der Endsektionen mit dem Mittelschiff erfolgte mittels Schrauben und Flügelmutter. Ein ausreichend genauer Verlauf der Schiffsform an den Übergangsstellen wurde ohne langwieriges Ausrichten durch Paßstifte in Stahlbuchsen ermöglicht, die in die Abschlußschotte der Sektionen eingearbeitet waren. Das Netz für die Auswertung der Wellenkontur war an der BB-Seite des Modells mit einem WL-Abstand von 3 cm angebracht worden. Ein zusätzliches Wellennetz wurde auf der Schlitzinnenseite StB markiert. Sämtliche Modelle erhielten einen Turbulenzdraht ( $d = 1$  mm) auf Spt 19. Für die Zusatzversuche des ITS waren eine langauslaufende Ausarbeitung des Bodens sowie ein Aussägen des Abschlußschottes der Mittelsektion erforderlich. Durch Einleimen zweier Längsblenden und einer Querblende aus Holz wurde eine wasserdichte Kammer als Verlängerung des Schlitzes gebildet, in deren Hohlraum jeder gewünschte Schlitzauslauf eingesetzt werden konnte. Die entworfenen Konturen 5 und 6 (Bild 4) sind aus Leichtmetallblech geformt worden, das an den Enden und entlang

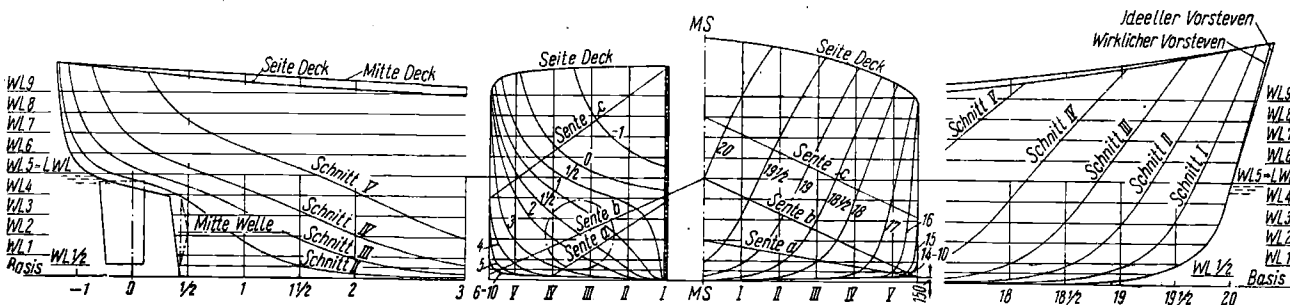


Bild 2. Bagger mit Heckschlitz (Entwurf VEB Schiffswerft Roßlau)

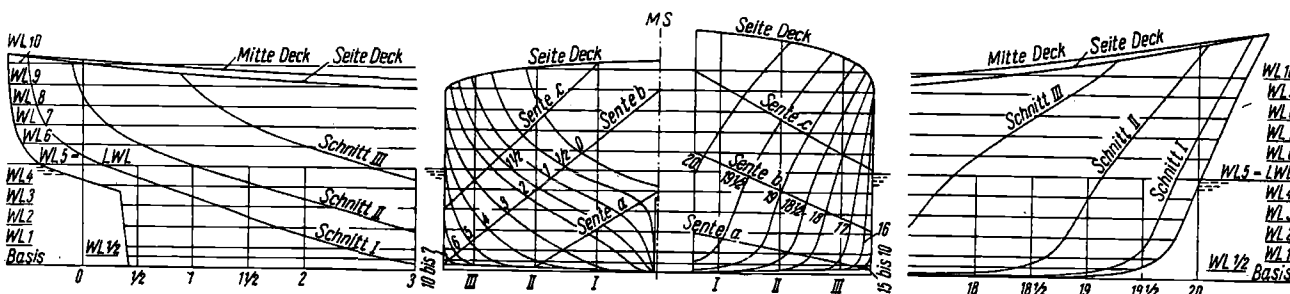


Bild 3. Bagger mit Bugschlitz (Entwurf VEB Schiffswerft Roßlau)

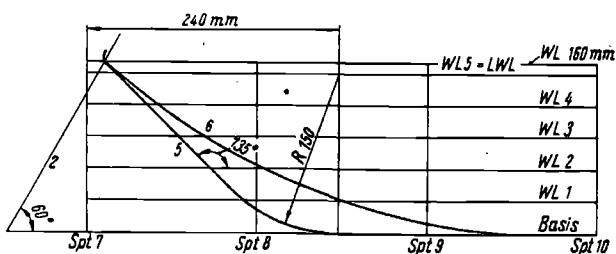


Bild 4. Schlitzabschlüsse bei den Zusatzversuchen des ITS

hölzerner Anschlagleisten im Kammerhohlraum befestigt wurde. Die im gleichen Modellmaßstab aus Leichtmetall angefertigte Eimerleiter wurde mittels zweier bockartiger Modellaufsätze, Schraubverbindungen sowie Distanzbuchsen und -blechen in die gewünschte Lage gebracht.

### 2.1.4. Versuchsanlage

Die Durchführung der rd. 1100 Meßfahrten erfolgte mit der Drahtschleppanlage des ITS mit Motorantrieb, die in [9] und [10] beschrieben worden ist und deren Prinzip der Anlage der SVA in Potsdam-Marquardt entspricht

Tafel 2. Schiffsdaten

Versuch	LWL [m]	LPP [m]	BWL [m]	T <sub>M</sub> [m]	T <sub>F</sub> [m]	T <sub>A</sub> [m]	Θ [°]	▽ [m³]	Δ [t]	S [m²]	LCB [m]	LOB LPP [-]	C <sub>B</sub> [-]	C <sub>B</sub> PP [-]	C <sub>M</sub> [-]	LWL/BWL [-]	BWL/T <sub>M</sub> [-]	S $\frac{S}{\Delta^2}$ [-]	L <sub>S</sub> [m]	B <sub>S</sub> [m]	L <sub>S</sub> /LWL [-]	B <sub>S</sub> /BWL [-]
1, 4, 7, 10	58,69	58,50	11,30	2,40	2,40	2,40	0	1183	1220	880,0	+ 0,93	+ 0,0158	0,748	0,746	0,969	5,19	4,71	7,41	20,82	1,90	0,355	0,108
2, 5, 8, 11	59,67	58,50	11,30	2,70	2,70	2,70	0	1352	1306	880,6	+ 0,83	+ 0,0141	0,743	0,757	0,974	5,28	4,19	7,25	21,88	1,90	0,367	0,108
13	59,67	58,50	11,30	2,70	2,70	2,70	0	1352	1306	887,4	+ 0,83	+ 0,0141	0,743	0,757	0,974	5,28	4,19	7,26	21,88	1,90	0,367	0,108
14	59,67	58,50	11,30	2,70	2,70	2,70	0	1352	1306	886,0	+ 0,83	+ 0,0141	0,743	0,757	0,974	5,28	4,19	7,24	21,88	1,90	0,367	0,108
15	59,67	58,50	11,30	2,70	2,70	2,70	0	1352	1306	885,0	+ 0,83	+ 0,0141	0,743	0,757	0,974	5,28	4,19	7,24	21,88	1,90	0,367	0,108
3, 6, 9, 12	60,11	58,50	11,30	3,00	3,00	3,00	-0,6	1516	1504	943,5	+ 0,70	+ 0,0120	0,744	0,764	0,976	5,32	3,77	7,15	22,42	1,90	0,373	0,108
16, 18	59,95	58,50	11,30	2,70	2,40	3,00	+ 0,6	1352	1306	898,0	- 0,13	- 0,0021	0,739	0,757	0,974	5,31	4,19	7,34	22,93	1,90	0,382	0,108
17, 19	58,04	58,50	11,30	2,70	3,00	2,40	+ 0,6	1356	1308	871,9	+ 1,80	+ 0,0308	0,758	0,760	0,974	5,19	4,19	7,12	20,93	1,90	0,357	0,108
20	58,83	58,50	11,30	2,40	2,40	2,40	0	1150	1186	823,6	+ 0,48	+ 0,0082	0,725	0,729	0,969	5,21	4,71	7,50	20,47	2,00	0,348	0,177
21	59,71	58,50	11,30	2,70	2,70	2,70	0	1320	1301	877,4	+ 0,30	+ 0,0051	0,725	0,740	0,974	5,28	4,19	7,29	20,73	2,00	0,347	0,177
22	60,17	58,50	11,30	3,00	3,00	3,00	0	1486	1532	929,6	+ 0,12	+ 0,0021	0,725	0,746	0,976	5,32	3,77	7,14	20,99	2,00	0,349	0,177
23, 26	58,83	58,50	11,30	2,40	2,40	2,40	0	1155	1191	816,2	+ 0,52	+ 0,0028	0,728	0,732	0,969	5,21	4,71	7,41	17,83	2,00	0,303	0,177
24, 27	59,71	58,50	11,30	2,70	2,70	2,70	0	1327	1308	868,2	+ 0,84	+ 0,0058	0,729	0,744	0,974	5,28	4,19	7,19	17,80	2,00	0,299	0,177
25, 28	60,17	58,50	11,30	3,00	3,00	3,00	0	1495	1541	918,8	+ 0,17	+ 0,0029	0,729	0,750	0,970	5,32	3,77	7,08	17,99	2,00	0,299	0,177
29	58,72	58,50	11,30	2,40	2,40	2,40	0	1195	1234	750,0	+ 1,14	+ 0,0195	0,751	0,754	0,969	5,20	4,71	8,00	0	0	0	0
30	59,04	58,50	11,30	2,70	2,70	2,70	0	1363	1408	790,3	+ 0,98	+ 0,0168	0,758	0,768	0,974	5,28	4,19	8,43	0	0	0	0
31	59,97	58,50	11,30	3,00	3,00	3,00	0	1533	1581	829,5	+ 0,81	+ 0,0138	0,758	0,777	0,976	5,31	3,77	8,24	0	0	0	0
32	59,67	58,50	11,30	2,70	2,70	2,70	0	1353	1397	897,3	+ 0,80	+ 0,0137	0,743	0,758	0,974	5,28	4,19	7,34	21,88	1,90	0,367	0,108
33	59,73	58,50	11,30	2,73	2,73	2,73	0	1353	1397	903,9	+ 0,88	+ 0,0151	0,734	0,750	0,974	5,29	4,14	7,39	21,84	1,90	0,366	0,108
34 a, b	59,70	58,50	11,30	2,74	2,74	2,74	0	1353	1397	910,1	+ 0,90	+ 0,0155	0,731	0,747	0,974	5,29	4,12	7,44	21,86	1,90	0,366	0,108

Tafel 3. Modelldaten

Schiffsform	LWL [m]	LPP [m]	BWL [m]	T <sub>L</sub> WL [m]	Δ [kg]
Heckschlit	3,315	3,25	0,628	0,150	231,8
Bugschlit	3,317	3,25	0,628	0,150	226,3
ohne Schlit	3,313	3,25	0,628	0,150	233,7

[11]. Als Richtwerte für die bei ausreichender Meßzeit erreichbare Geschwindigkeit lassen sich für ein 3,25-m-Modell mit einem Deplacement von 250 kg  $V = 1,4 \text{ ms}^{-1}$  und für ein 2,5-m-Modell mit 130 kg  $V = 1,9 \text{ ms}^{-1}$  angeben. Da die relativ große Masse des Baggermodells zu einer größeren Beschleunigungs- und Verzögerungsstrecke führte, wurde die Verzögerungsstrecke durch das Anbringen einer geeigneten Stoppvorrichtung wesentlich verkürzt und eine optimale Meßstrecke auch bei der größten Geschwindigkeit erzielt. Die Fangvorrichtung bestand aus einem mit Schraubzwingen an den Obergurten des Trimm tanks befestigten breiten Gurt aus Gummi. Ihre Wirkungsweise verdeutlicht Bild 6. Kurz vor dem Aufprall wurde der Antriebsmotor ausgeschaltet. Eine Beschädigung des Drahtes, der Rollen mit Lagerung usw. beim Abbremsen des Modells kann nicht eintreten.

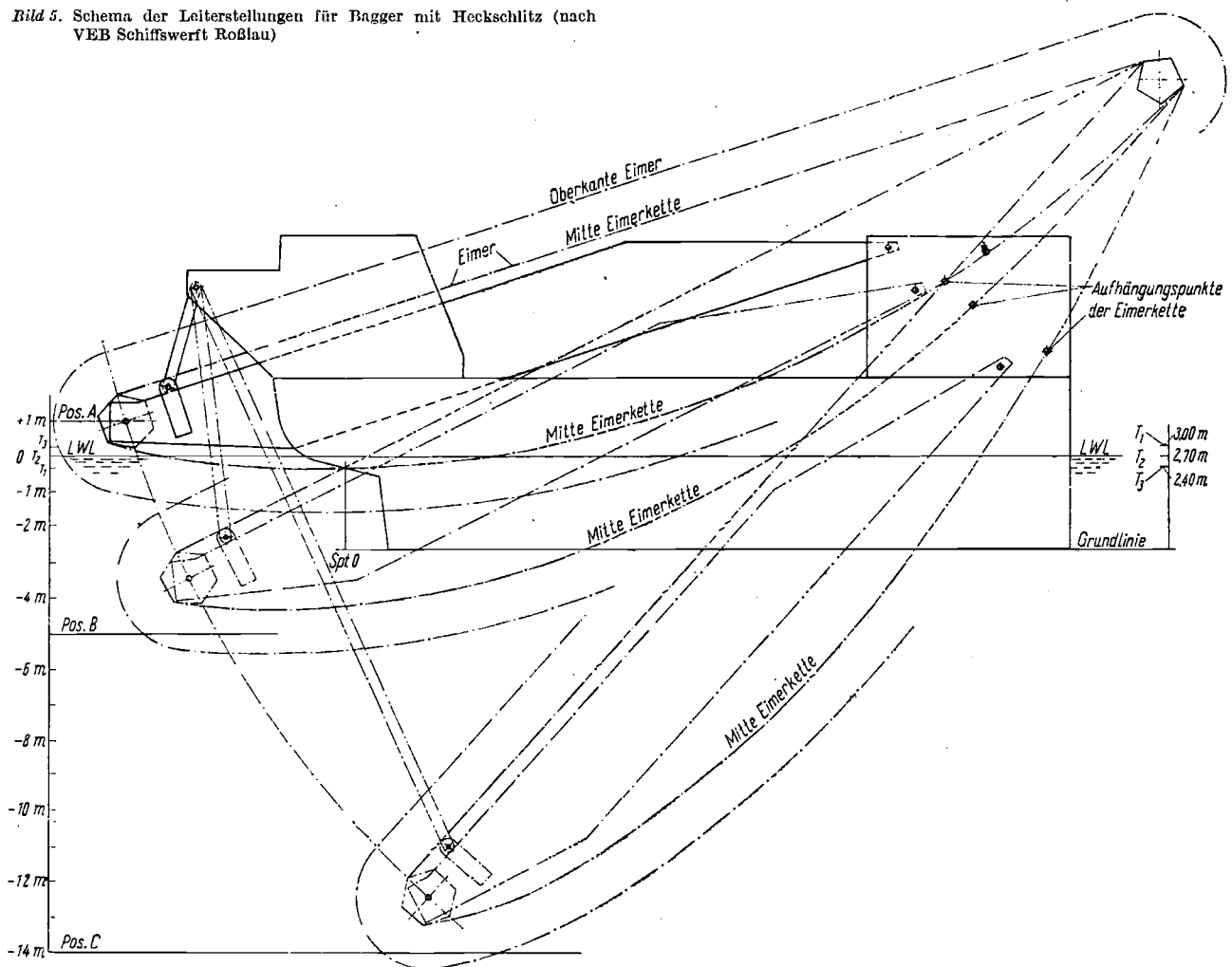
Um den Einschwingvorgang der Pendelmeßwaage zu beschleunigen und die sonst vom Messenden durch Armkraft aufzunehmende, beim vorliegenden Modell recht erhebliche, Beschleunigungskraft abzufangen, wurde an der unteren Querverbindung der Waagenverkleidung eine Arretiervorrichtung für die lose Umlenkrolle angebracht (Bild 7). Diese wurde erst bei konstanter Geschwindigkeit mittels Flügelmutter gelöst. Außerdem ermöglicht sie Demonstrations- und Fotofahrten ohne zusätzlichen personellen Aufwand.

Die Empfindlichkeit der Neigungswaage wurde in üblicher Weise durch wählbare exzentrisch angebrachte Massen (Bild 7) festgelegt. Darüber hinaus wurde während der Zusatzversuche eine variable Dämpfung erprobt, die die durch feste Zusatzmassen vorgegebene Empfindlichkeit nicht beeinflußt. Als Dämpfungsfüssigkeit diente zähes Motorenöl. Vergleichsfahrten zeigten, daß die Ablesegenauigkeit hiermit zumindest im Fall der vorhandenen Gesamtanordnung einschließlich der verwendeten Modelle erhöht werden konnte. Der Auftrieb der in den Standzylinder (Bild 8) auch bei den zulässigen positiven Ausschlägen stets voll getauchten Drahtvorspannlast bewirkt zwar eine seinem Betrag entsprechende Verringerung der Vorspannkraft, jedoch bleibt diese ausreichend groß gegenüber der zu messenden Maximalkraft (z. B.  $2 \cdot 15 \text{ kp}$  durch Auftrieb reduziert auf etwa  $2 \cdot 13,5 \text{ kp}$ ).

Die Empfindlichkeit der vorhandenen Pendelmeßwaage liegt im Nullpunktbereich zwischen  $\frac{1}{5}$  und  $\frac{1}{14}$  Skalenteil, wobei sie fast ausschließlich von der verwendeten Zusatzmasse, aber nur unwesentlich von der Vorspannlast ( $2 \cdot 5, 2 \cdot 10, 2 \cdot 15 \text{ kp}$ ) abhängt. Eine zusätzliche Korrektur der für die ursprüngliche Vorspannlast ermittelten Eichkurven der Empfindlichkeit ist daher bei Verwenden einer Öldämpfung überflüssig. Mit zunehmender Auslenkung wird das Verhältnis Auflagelast

kleiner und damit die Empfindlichkeit größer. Bei einwandfreier Lagerung und Fehlen jeglicher noch so kleinen Unwucht genügt die Empfindlichkeit der nach Bild 9 abgeleiteten Beziehung  $P_1 = \sin \alpha \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot P_2$ . Diese läßt sich in der Praxis nicht völlig realisieren.

Bild 5. Schema der Leiterstellungen für Bagger mit Heckschlitz (nach VEB Schiffswerft Roßlau)



Die Leerlaufreibung  $2 R_0$  der Anlage schwankte für den Geschwindigkeitsbereich  $0,2 \leq V \text{ [ms}^{-1}] \leq 1,4$  zwischen 20 und 30 p, wobei die maximale Streuung der Punkte um die Ausmittelung  $\pm 1$  p betrug und somit der von *Bossow* in [8] angegebenen entspricht. Die Mittelwerte hingen hinreichend genau linear von  $V$  ab, wie gleichfalls in [8] zitiert wird. Eine Kontrolle der Leerlaufreibung bei kontinuierlichem Betrieb mit der Anlage in Abständen von 2 bis 3 Wochen reicht aus, wenn durch Stichprobenfahrten eventuell auftretende zwischenzeitliche Veränderungen überwacht werden. Nach längerem Stillstand der Anlage sollte die Leerlaufreibungskurve neu ermittelt werden. Die zusätzliche Reibung beim Schleppen des Modells, die nach dem Diskussionsbeitrag von *Petersen* zu [11] ermittelt werden kann, blieb entsprechend der Überlegung von *Bossow* in [8] unberücksichtigt.

Die Modellgeschwindigkeit wurde in herkömmlicher Weise nach Voltmeter grob geregelt und mit einem Zeit-Weg-Schreiber registriert (Bild 10). Verbesserungen der Geschwindigkeitsmessungen wurden im Rahmen der Zusatzversuche erprobt.

Die um 0,5 m ausmittige Anordnung des Schleppdrahtes über dem Kanal gestattete zu gleicher Zeit während der Versuche mit den Baggermodellen, Eich- und Erprobungsfahrten mit dem Schleppwagen ohne Meßobjekt durchzuführen. Auch das Filmen der Strömung im Schlitz erfolgte von dem mit gleicher Geschwindigkeit neben dem am Draht geschleppten Baggermodell herfahrenden Schleppwagen aus.

### 2.1.5. Meßgenauigkeit

Der zu messende Modellwiderstand lag in den Bereichen von 30 bis 1300 p bei der schlitzlosen Form (Minimalwiderstand) und 230 bis 2900 p beim Schleppen mit Eimerleiter in Stellung C (Maximalwiderstand). Die Anforderungen an die Meßgenauigkeit entsprachen denen, die an übliche Routineversuche gestellt werden. Die Meßgenauigkeit war im Bereich der mittleren Geschwindigkeiten bis über die Dienstgeschwindigkeit hinaus am größten. Bei den kleineren Geschwindigkeiten war voll ausgebildete Grenzschichtturbulenz trotz Turbulenzdraht nicht vorhanden, wie aus der Lage

der Punkte  $\frac{R_T}{V^2} = f(V)$  bei Kontrollauftragungen

hervorging. Die Streuung der Meßergebnisse auch bei Wiederholungsfahrten war hierdurch naturgemäß größer als bei mittleren und höheren Geschwindigkeiten. Hinzu tritt noch der wesentlich höhere Anteil der abgezogenen Systemreibung des Drahtschlepps an der gemessenen Kraft. Messungen des Turbulenzgrades in der Versuchsrinne wurden im Rahmen dieser Versuchsreihen nicht vorgenommen. Die Intervalle zwischen den einzelnen Fahrten richteten sich nach dem Abklingen der Oberflächenwellen. Wurden die Kontrollfahrten mit kleinen Geschwindigkeiten unmittelbar nach Abklingen der Oberflächenwellen durchgeführt, die von der Fahrt mit der höchsten Geschwindigkeit herrührten, so konnte in fast allen Fällen aus den Meßwerten auf eine ausreichende Wirksamkeit des Turbulenzerregers geschlossen werden. Für die relativ kleine Rinne des ITS dürfte zumindest beim Schleppen breiter völliger Modelle mit



Bild 6. Abfangen des Baggermodells im Triinntank  
(Foto Ebel)

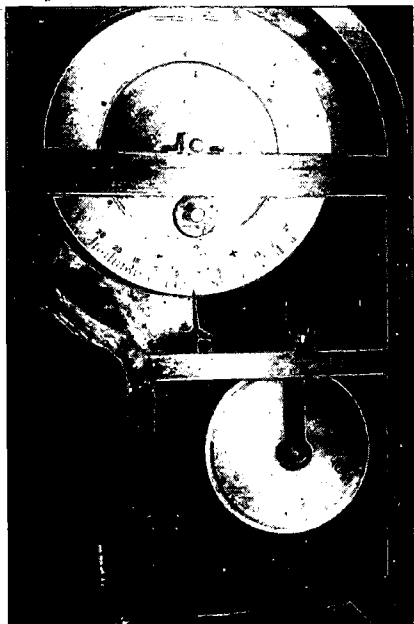


Bild 7  
Pendelmeßwaage mit  
auswechselbarer Zu-  
satzmasse und Arre-  
tiervorrichtung  
(Foto Ebel)

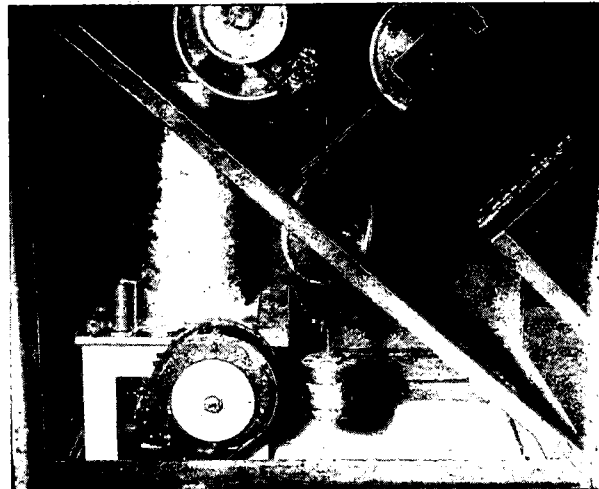


Bild 8. Rollenführung unter der Pendelmeßwaage und Standzylinder für  
Öldämpfung  
(Foto Ebel)

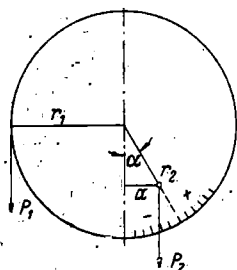


Bild 9  
Kräfte an der Pendelmeßwaage

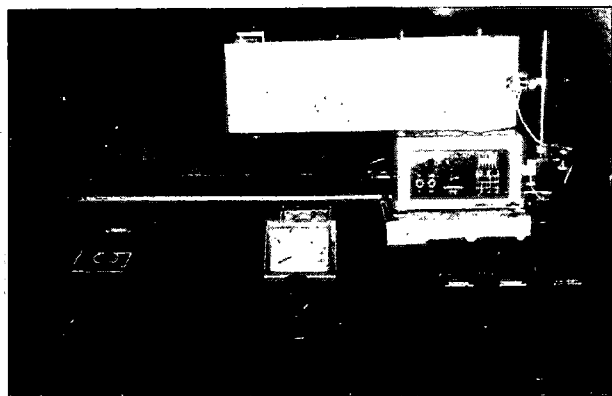


Bild 10. Fahrpult der Drahtschleppanlage  
(Foto Ebel)

hohem Ablösewiderstand ein Einfluß des Turbulenzgrades auf die Wirksamkeit des Erregers bestehen. Diese Beobachtungen werden im Rahmen einer anderen Arbeit am ITS geprüft.

Abgesehen von dem Bereich sehr kleiner Geschwindigkeiten betrug die Meßgenauigkeit etwa  $\pm 2\%$  (ausgedrückt in der Ordinatenabweichung von der geglätteten Kurve bei der Kontrollauftragung). Für Routineversuche ist diese Bandbreite als üblich anzusehen. Bei den höchsten Geschwindigkeiten lagen die Meßwerte an den Toleranzgrenzen. Hier machten sich Störungen beim Auspendeln bemerkbar, die anscheinend auf die Ablösung und Wellenbildung im Schlitz zurückzuführen sind. Bei den Versuchen mit Eimerleiter in Stellung A lag die Pendelmeßwaage ruhiger, weil vermutlich ein Stabilisieren der Schlitzströmung durch die teilweise eingetauchte Eimerleiter eintrat. Auch bei der Versuchsreihe mit dem schlitzlosen Modell konnte eine ruhigere Lage der Pendelmeßwaage festgestellt werden. Insgesamt gestattete die Versuchssystematik vor allem durch die nur wenig voneinander abweichenden Tiefgänge eine gute Einschätzung der Zuverlässigkeit der gemittelten Widerstandskurven.

#### 2.1.6. Vergleichsversuche

Nach Abschluß der ersten Versuchsreihe mit dem Baggermodell wurde mit dem Drahtschlepp u. a. ein Modell des Motorfrachtschiffes Typ I „Stralsund“ ( $\lambda = 25$ ) geschleppt. Dieses Modell war im Rahmen einer Geosim-Versuchsreihe in der SVA Potsdam-Marquardt (damalige Bezeichnung VSVA) geschleppt und nach Abschluß der dortigen Versuche dem ITS zusammen mit weiteren Modellen überlassen worden. Die Schleppversuchsergebnisse für sämtliche Geosim-Modelle der „Stralsund“ ( $\lambda = 45, 35, 25, 15, 14$ ) nach Messungen verschiedener Versuchsanstalten (SVA Potsdam-Marquardt, Schiffbautechnische Versuchsanstalt Wien, NSP Wageningen) sind in [12] miteinander verglichen worden.

Von den drei dem ITS überlassenen Modellen der Geosimreihe wurde das größte mit  $L_{WL} = 2,52$  m und  $\Delta = 130,88$  kg ausgewählt, weil es außer der günstigen Modellgröße die beste Oberflächenbeschaffenheit aufwies. Der Versuch mit dem Drahtschlepp wurde durch einen weiteren mit dem Schleppwagen während dessen Erprobung ergänzt (Versuchsdurchführung: Dipl.-Ing. Schmidt und Ing. Hahn). Die geglätteten Ergebnisse beider Versuche wurden nach Schoenherr (ATTG 1947) von der Tankwassertemperatur  $t = 13,0$  °C bzw.  $12,8$  °C auf eine solche von  $t = 15$  °C umgerechnet und mit den aus [12, Bild 6] übertragenen Kurven für die in Potsdam-Marquardt und Wien geschleppten Modelle in Bild 11 dargestellt. Sämtliche Modelle waren mit einem Turbulenzdraht auf Spt 9,5 versehen. Zum Vergleich wurde die

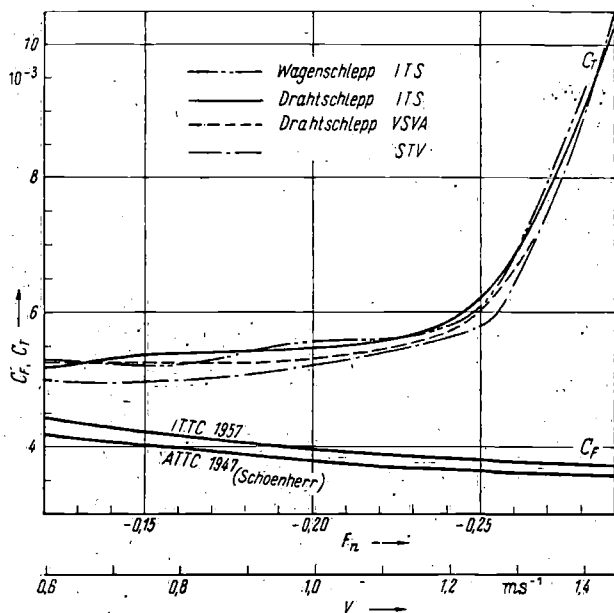


Bild 11. Vergleich der Gesamtwiderstandsbeiwerte für 2,5 m — Modell der „Stralsund“ (nach Schoenherr auf gleiche Tankwassertemperatur 15 °C umgerechnet)

ITTC-1957-Korrelationslinie zusätzlich eingetragen. Die Übereinstimmung der Gesamtwiderstandsbeiwerte kann durchaus als gut bezeichnet werden.

## 2.2. Umrechnung der Versuchsergebnisse auf die Großausführung

### 2.2.1. Verwendete Reibungslinien und Rauheitszuschläge

Die geglätteten Kurven der Versuchsergebnisse für die Baggermodelle wurden gemäß den Beschlüssen der ATTC 1947 mit den Reibungsbeiwerten nach Schoenherr (mean line) und einem konstanten Rauheitszuschlag  $\Delta C_F = 0,4 \cdot 10^{-3}$  auf die Großausführung für Seewasser bei 15 °C umgerechnet. Im Bereich der Dienstgeschwindigkeit erfolgte die Umrechnung nach der ITTC-1957-Korrelationslinie mit einem gleichfalls konstanten Zuschlag für die Außenhautrauigkeit  $\Delta C_F = 0,2 \cdot 10^{-3}$ . Die Umrechnung betrifft den nackten Schiffskörper ohne Berghölzer. Die maßgeblichen mittleren Tankwassertemperaturen enthält Tafel 4 in zeitlicher Reihenfolge. Ausgeprägte Sprünge während eines Monats entstanden durch längeren Betrieb der Luftheizung in der Strömungshalle.

Die Umrechnung nach der ATTC 1947 einschließlich Zuschlag wurde gewählt, um einen Vergleich mit vorhandenen Einzeldaten zu erleichtern.

Ihre grundsätzliche Unzulänglichkeit ist bekannt und wurde in kurzer Form in [13] erläutert. Die zusätzliche Umrechnung nach der ITTC-1957-Korrelationslinie erfolgte entsprechend der Empfehlung der Internationalen Tankleiterkonferenz 1957. Der gewählte Zuschlag entspricht als ungefähre Mittelwert den Auswertungsergebnissen von Probe- und Dienstfahrtmessungen (s. Literatur in [13]). Beim Umrechnen nach der Schoenherr-Linie wurden Formfaktoren für die dreidimensionale Umströmung der Modelle nicht berücksichtigt. Beim gegenwärtigen Wissensstand sind für Routineversuche derartige Korrekturen nicht eher angebracht, bis wissenschaftlich begründete einheitliche Erkenntnisse darüber vorliegen. Außerdem ergibt sich im allgemeinen aus Versuchen mit einem Modell oder mehreren fast ähnlichen Modellen mit gleichem Maßstab kein hinreichend genauer Formfaktor. Die Besonderheiten der Schiffsform eines Baggers werfen zusätzliche Probleme beim Umrechnen auf die Großaus-

Tafel 4. Mittlere Tankwassertemperaturen

Versuch		t [°C]	Versuch		t [°C]	Versuch		t [°C]
im	Nr.		im	Nr.		im	Nr.	
Nov. 1961	2	11,0	Dez. 1961	7	9,8	April 1962	25	12,3
Nov. 1961	1	10,0	Jan. 1962	10	10,8	April 1962	28	12,5
Nov. 1961	3	9,5	Jan. 1962	11	11,2	April 1962	27	12,5
Dez. 1961	16	9,0	Jan. 1962	12	11,5	Mai 1962	28	12,0
Dez. 1961	17	9,0	Jan. 1962	13	14,0	Mai 1962	30	13,0
Dez. 1961	4	8,9	Jan. 1962	14	14,0	Mai 1962	29	13,0
Dez. 1961	5	11,0	Jan. 1962	15	14,2	Mai 1962	31	13,0
Dez. 1961	18	10,3	März 1962	21	12,5	Dez. 1962	32	9,8
Dez. 1961	19	10,3	März 1962	20	12,6	Jan. 1963	33	11,4
Dez. 1961	6	11,0	März 1962	22	11,5	Jan. 1963	34a	9,0
Dez. 1961	9	9,6	April 1962	23	12,4	Jan. 1963	34b	8,5
Dez. 1961	8	9,0	April 1962	24	12,5			

führung auf. Sie wurden bereits in [7] angegeben und betreffen vor allem den Reibungswiderstand an den Schlitzwänden und den Ablösewiderstand.

### 2.2.2. Umrechnung bei Berücksichtigen der Eimerleiter

Bei der 1. und 2. Versuchsreihe trat erschwerend hinzu, daß der Widerstand der Eimerleiter gleichfalls umgerechnet werden mußte. Bei den Versuchen 10 bis 12 mit der auf Arbeitstiefe abgesenkten Eimerleiter (Stellung C) ergaben sich Schwierigkeiten hinsichtlich der Turbulenz. Die Kontrollauftragung der Meßergebnisse zeigte bei Reynoldsschen Zahlen des Modells  $R_n < 9 \cdot 10^5$  für sämtliche drei Tiefgänge einen steilen Abfall längs einer einzigen Geraden entsprechend einer Übergangslinie von turbulenter zu laminarer Grenzschicht. Da dieser durch die ablösungsfreien Reibungsflächen der Eimerleiter bedingte Laminareinfluß eindeutig nachweisbar und die zugeordnete Schiffgeschwindigkeit  $V < 3$  kn war, wurden die geglätteten Kontrollkurven des Modellwiderstandes aus dem turbulenten Bereich heraus auf kleinere Geschwindigkeiten extrapoliert und die danach abgelesenen Werte umgerechnet. Oberhalb der kritischen Reynoldszahl dürfte kein nennenswerter Maßstabeinfluß mehr auftreten. Der Widerstand der Eimerleiter ist infolge der vielen scharfen Kanten, Verstrebrungen usw. zum überwiegenden Teil Ablösewiderstand, für den keine wesentliche Abhängigkeit bei der Umrechnung auf die Großausführung bei gleicher Lage der Ablösestelle besteht. Unberücksichtigt blieb nur der Rauheitszuschlag für die Reibungsflächen mit anliegender Grenzschicht, also hauptsächlich für Teilflächen der Eimer. Die Größe dieser benetzten Teilflächen ist relativ klein und ohnehin unbekannt, desgleichen die örtliche Reynoldszahl. Die bei der Umrechnung verwendete benetzte Oberfläche entspricht daher stets nur derjenigen des Modells einschließlich Schlitz.

### 2.2.3. Umrechnung bei Berücksichtigen der Wellenhosen

Nach Abschluß der drei Schleppversuchsreihen wurden mit dem Heckschlitzmodell am ITS Manövrierversuche für den VEB Roßlauer Schiffswerft durchgeführt. Durch den damit verbundenen Umbau waren während der anschließenden Zusatzschleppversuche 32 bis 34b am Modell Wellenhosen vorhanden. Die Schiffsform selbst entsprach beim Versuch 32 derjenigen für Versuch 15. Nach Temperaturkorrektur des Reibungsbeiwertes wurden die Verhältniszahlen  $\frac{R}{V^2}$  für die Wellenhosen des Modells durch Differenzbildung der  $\frac{R}{V^2}$ -Werte der Versuche 32 und 15 ermittelt. Die Umrechnung des Widerstandes von Anhängen am Modell ist bekanntlich noch unsicherer als die einwandfreie Extrapolation der Meßergebnisse für das nackte Modell auf das Schiff. Wegen der geringen  $R_n$ -Werte für die Anhänge und der damit meist verbundenen Überschätzung des Anhangwiderstandes empfahl van Lam-

meren in [14], bei langsamen Schiffstypen große Modelllängen (6,5 bis 7 m) zu wählen, damit keine großen Korrekturen mehr durchzuführen sind. Er führte weiter aus, daß ein gut konstruiertes Wellenhosenpaar keine größere Widerstandszunahme als 4 bis 8% zu verursachen brauche. Weitere Erkenntnisse über den Widerstand der Anhänge wurden von Lap in [15] zusammengestellt. Lap gibt an, daß eine dreidimensionale Extrapolation den Maßstabeinfluß bei der Berechnung des Anhangwiderstandes und damit das Anwenden besonderer Korrekturfaktoren ausschaltet.

Ein Umrechnen unter Berücksichtigung der räumlichen Strömung ist im vorliegenden Fall wegen Unkenntnis des Formfaktors aus den bereits genannten Gründen nicht möglich. Wegen der verwendeten zweidimensionalen Umrechnung auf die Großausführung mußte deshalb eine zusätzliche Korrektur durchgeführt werden. Hierzu dienten Meßergebnisse für den Anhangwiderstand der Wellenhosen an der „Lucy Ashton“ [16], die auszugswise für Berechnungszwecke von Wieghardt in [17] mitgeteilt wurden. Obwohl der umgebaute Seitenraddampfer „Lucy Ashton“ einen durchhängenden

Kiel, geringere Völligkeit und wesentlich größeres  $\frac{L}{B}$

aufweist, unterscheiden sich  $C_M$  und  $\frac{B}{T}$  nicht wesentlich

von der vorliegenden Baggerform. Die Länge ist bei beiden Schiffen nahezu gleich. Die wichtigsten Daten beider Schiffe und der zugehörigen Wellenhosen sind in Tafel 5 zum Vergleich enthalten. Die benetzte Oberfläche der Wellenhosen wurde sowohl durch Abwicklung als auch nach dem von Lap in [15, Bild 116] angegebenen Schaubild ermittelt (s. auch [18]). Die Übereinstimmung zwischen nahezu exakter Bestimmung und Näherung ist unabhängig vom nur überschlägig bestimmten  $C_{PA}$  als gut zu bezeichnen. Bei der näherungsweisen Bestimmung für Bagger mit einem Schlitz muß jedoch von  $b_B$  im Parameter  $\frac{b_B \cdot t_B}{B \cdot T}$  die Schlitzbreite abgezogen

werden. Ohne diese Korrektur wird der Parameter und damit der Verhältniswert  $\frac{S_B}{S}$  zu groß.

In Bild 12 wird ein Vergleich der  $(C)_B$ -Werte für die Wellenhosen der Modelle gleicher Länge des Baggers und der „Lucy Ashton“ dargestellt. Die Kurve für das Baggermodell weist für kleinere Geschwindigkeiten im

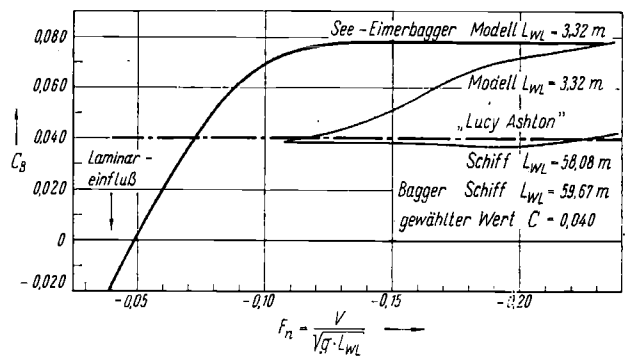


Bild 12. Vergleich der  $(C)_B$ -Werte (Lucy Ashton/Sec-Eimerbagger) für den durch Wellenhosen bedingten Zusatzwiderstand

Fall anliegender Grenzschicht an den Wellenhosen Laminareinfluß aus. Trotzdem befriedigt die Tendenz beider Kurven für  $F_n > 0,09$  durchaus. Die größeren  $(C)_B$ -Werte des Baggermodells im Bereich mittlerer  $F_n$

trotz kleinerem  $\frac{S_B}{S}$  gegenüber der „Lucy Ashton“ sind

vermutlich auf stärkere Ablösung wegen der völligeren Form des Hinterschiffes und der an Stelle von Blindnaben verwendeten Verschlußstopfen der Wellen zurückzuführen. Der entsprechend dem Verlauf der  $(C)_B$ -Werte für die Wellenhosen des Schiffes „Lucy Ashton“ gewählte Wert  $(C)_B = 0,040$  für die Wellenhosen der Baggergroßausführung darf deshalb mit Recht als ausreichend genau betrachtet werden.

Die Umrechnung der Modellwiderstände von Versuch 33, 34a und b auf die Großausführung erfolgte nach Abzug des im betreffenden  $F_n$ -Bereich ( $F_n > 0,13$ ) stets konstanten Wertes  $\frac{R}{V^2} = 0,039$ .

### 3. Auswertung der Ergebnisse

#### 3.1. Auf die Großausführung umgerechnete Versuchsergebnisse

Der unter Berücksichtigung aller in 2.2 genannten Einzelheiten auf die Großausführung umgerechnete Gesamtwiderstand  $R_T$  sowie die Widerstandsanteile  $R_F$  und  $R_R$  sind in den Tafeln 6 als  $f(V)$  und 7 als  $f(F_n)$  angegeben worden. Tafel 8 enthält den spezifischen Restwiderstand des Schiffes  $\frac{R_R}{\Delta}$  als  $f(F_n)$ . Von einer

Wiedergabe der zugehörigen Kurven für sämtliche Versuche wird bei den Tafeln 6 und 7 abgesehen. Desgleichen unterbleibt eine Angabe der Werte für die Umrechnung nach der ITTC-1957-Korrelationslinie. Als Beispiele für den Kurvenverlauf dienen die Bilder 13, 14 und 15, die sämtliche auf die Großausführung für 15 °C umgerechneten Ergebnisse der Versuche 29 bis 31 (Form ohne Schlitz) enthalten. Die Widerstandskurven gestatten einen schnellen Überblick über die Widerstandsanteile und über die Abweichungen der Umrechnung nach den beiden unterschiedlichen Reibungslinien, die nicht allein auf die verschiedenen Rauheitszuschläge, sondern gleichfalls auf die größere Steilheit der ITTC-1957-Korrelationslinie im Modellbereich zurückgehen.

Aus Bild 16 ist der Widerstand der Wellenhosen an der Großausführung ersichtlich. Die zugehörigen Zahlenwerte sowie die Verhältniswerte des Wellenhosenwiderstandes zum Gesamtwiderstand des Schiffes ohne Wellenhosen enthält Tafel 9. Der niedrige Anteil des Wellenhosenwiderstandes ist durch die relativ kurzen Wellenhosen und den größeren Gesamtwiderstand im Nenner gegenüber normalen Seeschiffsformen bedingt.

Tafel 5. Datenvergleich „Lucy Ashton“/Sec-Eimerbagger

	„Lucy Ashton“	Versuch 32	
LWL [m]	58,08	59,67	
LPP [m]	58,08	58,50	
BWL [m]	6,43	11,30	
T <sub>A</sub> [m]	1,42	2,70	
$\frac{L_{WL}}{B_{WL}}$ [—]	9,04	5,28	
$\frac{b_{WL}}{T_M}$ [—]	4,12	4,10	
$C_{BPP}$ [—]	0,685 <sup>1)</sup>	0,758 <sup>1)</sup>	
$C_M$ [—]	0,972	0,974	
$C_{PA}$ [—]	≈ 0,75 <sup>1)</sup>	≈ 0,775 <sup>1)</sup>	
$\frac{S_B}{S}$ [—]	2,07 <sup>2)</sup>	1,56 <sup>2)</sup>	<sup>1)</sup> mit L <sub>PP</sub>
D <sub>B</sub> [m]	0,318	0,405	<sup>2)</sup> nach Abwicklung
L <sub>B</sub> [m]	4,46	3,78	
b <sub>B</sub> [m]	2,75	4,64	<sup>3)</sup> nach Lap-Schaubild
t <sub>B</sub> [m]	0,73	1,54	
$\frac{(h \cdot t)_B}{B \cdot T}$ [—]	0,234	0,220	
$\frac{S_B}{S}$ [—]	≈ 2,05 <sup>2)</sup>	≈ 1,43 <sup>2)</sup>	



Tafel 6. Gesamtwiderstand und Widerstandsanteile der Großausführung als f (V), umgerechnet nach ATTC 1947 für 15 °C

Gesamtwiderstand $R_T$ [Mp]																	Tafel 6.1.	
V [kn]	Versuch 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
2	0,20	0,21	0,24	0,27	0,31	0,33	0,49	0,49	0,54	1,02	1,59	1,66	0,23	0,22	0,22	0,22	0,21	
3	0,42	0,44	0,46	0,60	0,67	0,72	1,11	1,13	1,22	3,27	3,25	3,36	0,46	0,45	0,45	0,44	0,45	
4	0,71	0,77	0,78	1,06	1,16	1,26	1,98	2,03	2,20	5,38	5,45	5,61	0,78	0,77	0,79	0,77	0,77	
5	1,10	1,21	1,22	1,68	1,83	1,98	3,13	3,21	3,50	8,05	8,21	8,42	1,20	1,22	1,25	1,20	1,18	
6	1,61	1,74	1,78	2,54	2,67	2,88	4,02	4,75	5,14	11,37	11,49	11,78	1,74	1,76	1,82	1,75	1,72	
7	2,28	2,41	2,49	3,71	3,80	4,03	6,43	6,64	7,15	15,29	15,53	15,90	2,42	2,46	2,53	2,46	2,38	
8	3,15	3,27	3,42	5,21	5,25	5,53	8,69	8,95	9,03				3,33	3,37	3,37	3,36	3,20	
9	4,31	4,49	4,70	7,12	7,11	7,41	11,39	11,70	12,43				4,51	4,60	4,53	4,54	4,37	
10	5,94	6,30	6,66	9,49	9,52	9,91							6,22	6,33	6,20	6,25	6,11	
11	8,40	8,91	9,76	12,30									8,64	8,88	8,92	8,50	8,88	

Gesamtwiderstand $R_T$ [Mp]																	Tafel 6.1.	
V [kn]	Versuch 18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	a	b
2	0,35	0,30	0,27	0,33	0,38	0,22	0,24	0,24	0,30	0,40	0,42	0,14	0,15	0,16	0,22			
3	0,76	0,64	0,61	0,73	0,84	0,47	0,52	0,56	0,82	0,86	0,95	0,30	0,31	0,33	0,47			
4	1,34	1,12	1,13	1,34	1,48	0,83	0,01	0,99	1,44	1,53	1,71	0,51	0,54	0,56	0,83			
5	2,07	1,75	1,83	2,16	2,37	1,30	1,45	1,58	2,00	2,40	2,69	0,80	0,84	0,87	1,30			
6	3,00	2,58	2,75	3,20	3,47	1,92	2,14	2,32	3,16	3,47	3,91	1,15	1,22	1,27	1,88	1,82	1,79	1,79
7	4,16	3,68	3,85	4,41	4,82	2,68	3,01	3,25	4,35	4,82	5,39	1,62	1,71	1,78	2,61	2,51	2,46	2,46
8	5,65	5,10	5,23	5,26	6,46	3,68	4,12	4,40	5,88	6,45	7,21	2,24	2,35	2,49	3,52	3,35	3,27	3,26
9	7,48	6,98	7,72	7,62	8,40	5,02	5,55	5,89	7,86	8,55	9,37	3,09	3,22	3,39	4,73	4,46	4,30	4,26
10	9,90	9,43	9,31	9,95	10,85	7,02	7,50	7,89	10,47	11,17	12,05	4,29	4,49	4,75	6,44	6,02	5,76	5,64
11			12,34	13,05	14,25	9,94	10,31	11,05	13,74	14,69	15,74	6,14	6,47	6,85	9,19	8,40	8,31	7,97

Reibungswiderstand $R_F$ [Mp]																	Tafel 6.2.	
V [kn]	Versuch 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
2	0,12	0,13	0,15	0,12	0,13	0,14	0,13	0,12	0,13	0,13	0,12	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	
3	0,27	0,28	0,30	0,27	0,28	0,30	0,27	0,28	0,30	0,27	0,26	0,31	0,28	0,28	0,27	0,28	0,28	
4	0,46	0,48	0,51	0,46	0,48	0,52	0,46	0,47	0,52	0,46	0,46	0,52	0,47	0,49	0,47	0,49	0,48	
5	0,70	0,73	0,78	0,70	0,74	0,78	0,70	0,72	0,78	0,70	0,72	0,79	0,72	0,74	0,72	0,74	0,72	
6	0,98	1,03	1,10	0,98	1,02	1,10	0,98	1,03	1,10	0,98	1,03	1,10	1,02	1,04	1,02	1,04	1,02	
7	1,31	1,38	1,46	1,31	1,37	1,47	1,31	1,37	1,47	1,31	1,37	1,48	1,37	1,38	1,37	1,41	1,36	
8	1,69	1,78	1,90	1,69	1,77	1,90	1,68	1,77	1,91	1,69	1,77	1,91	1,78	1,78	1,77	1,82	1,75	
9	2,11	2,22	2,37	2,11	2,21	2,38	2,11	2,21	2,38	2,11	2,21	2,38	2,22	2,23	2,20	2,26	2,20	
10	2,57	2,72	2,90	2,57	2,72	2,89							2,72	2,71	2,68	2,75	2,68	
11	3,06	3,23	3,47	3,06									3,26	3,24	3,22	3,25	3,19	

Reibungswiderstand $R_F$ [Mp]																	Tafel 6.2.	
V [kn]	Versuch 18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	a	b
2	0,13	0,13	0,12	0,13	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,14	0,10	0,12	0,13	0,13			
3	0,28	0,28	0,26	0,27	0,30	0,27	0,27	0,29	0,26	0,27	0,29	0,23	0,25	0,27	0,28			
4	0,48	0,48	0,45	0,48	0,50	0,45	0,47	0,50	0,45	0,47	0,49	0,41	0,43	0,45	0,48			
5	0,73	0,72	0,68	0,73	0,78	0,68	0,71	0,76	0,68	0,72	0,75	0,63	0,65	0,70	0,73			
6	1,03	1,01	0,97	1,03	1,10	0,96	1,01	1,07	0,96	1,01	1,06	0,88	0,83	0,98	1,04	1,06	1,06	1,06
7	1,37	1,37	1,29	1,39	1,47	1,28	1,36	1,43	1,27	1,36	1,48	1,17	1,24	1,30	1,39	1,41	1,42	1,42
8	1,78	1,75	1,66	1,77	1,89	1,65	1,75	1,85	1,65	1,75	1,84	1,51	1,58	1,67	1,79	1,81	1,83	1,83
9	2,22	2,20	2,08	2,20	2,36	2,06	2,19	2,30	2,06	2,19	2,20	1,80	1,98	2,09	2,25	2,28	2,29	2,29
10	2,72	2,67	2,55	2,69	2,86	2,52	2,66	2,81	2,53	2,66	2,80	2,30	2,41	2,56	2,74	2,78	2,80	2,80
11			3,65	3,20	3,43	3,01	3,18	3,40	3,04	3,19	3,38	2,76	2,91	3,07	3,27	3,32	3,35	3,35

Restwiderstand $R_R$ [Mp]																	Tafel 6.3.	
V [kn]	Versuch 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
2	0,08	0,08	0,09	0,15	0,18	0,10	0,36	0,37	0,41	1,49	1,47	1,52	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	
3	0,15	0,16	0,16	0,33	0,39	0,42	0,84	0,85	0,92	3,00	2,99	3,04	0,18	0,17	0,18	0,16	0,17	
4	0,25	0,29	0,27	0,60	0,68	0,74	1,52	1,56	1,68	4,92	4,99	5,09	0,31	0,28	0,32	0,28	0,29	
5	0,40	0,48	0,44	0,98	1,09	1,20	2,43	2,49	2,72	7,35	7,49	7,63	0,48	0,48	0,53	0,46	0,46	
6	0,63	0,71	0,68	1,56	1,65	1,78	3,64	3,72	4,04	10,39	10,46	10,68	0,72	0,72	0,80	0,71	0,70	
7	0,97	1,03	1,03	2,40	2,43	2,56	5,12	5,27	5,68	13,98	14,16	14,42	1,05	1,08	1,16	1,05	1,02	
8	1,46	1,49	1,52	3,52	3,48	3,63	7,01	7,18	7,72				1,55	1,59	1,60	1,54	1,45	
9	2,20	2,27	2,33	5,01	4,90	5,03	9,49	10,05					2,29	2,37	2,33	2,28	2,17	
10	3,37	3,58	3,76	6,92	6,80	7,02							3,50	3,62	3,52	3,50	3,43	
11	5,34	5,68	6,29	9,33									5,38	5,64	5,70	5,34	5,69	

Restwiderstand $R_R$ [Mp]																	Tafel 6.3.	
V [kn]	Versuch 18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	a	b
2	0,22	0,17	0,15	0,20	0,24	0,09	0,11	0,12	0,27	0,27	0,28	0,04	0,03	0,03	0,09			
3	0,48	0,36	0,35	0,46	0,54	0,20	0,24	0,27	0,56	0,59	0,66	0,07	0,06	0,06	0,19			
4	0,86	0,64	0,68	0,86	0,98	0,38	0,44	0,49	0,99	1,06	1,22	0,10	0,11	0,11	0,35			
5	1,34	1,03	1,15	1,43	1,59	0,62	0,74	0,82	1,52	1,68	1,94	0,17	0,19	0,17	0,57			
6	1,97	1,57	1,78	2,17	2,37	0,96	1,13	1,25	2,20	2,46	2,85	0,27	0,39	0,29	0,84	0,76	0,73	0,73
7	2,79	2,31	2,56	3,02	3,35	1,40	1,65	1,82	3,08	3,46	3,97	0,45	0,47	0,48	1,22	1,10	1,03	1,03
8	3,87	3,35	3,57	4,09	4,57	2,03	2,37	2,55	4,23	4,70	5,37	0,73	0,76	0,78	1,73	1,54	1,44	1,43
9	5,26	4,78	4,94	5,42	6,04	2,96	3,36	3,59	5,80	6,36	7,08	1,20	1,24	1,30	2,48	2,18	2,01	1,97
10	7,18	6,76	6,84	7,62	7,99	4,50	4,84	5,08	7,94	8,51	9,25	1,99	2,08	2,19	3,70	3,24	2,96	2,84
11			9,20	9,85	10,82	6,93	7,13	7,65	10,70	11,50	12,36	3,38	3,56	3,78	5,92	5,08	4,06	4,62

Tafel 7. Gesamtwiderstand und Widerstandsanteile der Großausführung als f (F<sub>n</sub>), umgerechnet nach ATTC 1947 für 15 °C

Gesamtwiderstand R <sub>T</sub> [Mp]																	Tafel 7.1.	
F <sub>n</sub> [—]	Versuch 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
0,04	0,17	0,19	0,22	0,24	0,28	0,29	0,42	0,42	0,47	1,43	1,46	1,52	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18	
0,06	0,36	0,39	0,42	0,52	0,60	0,64	0,96	1,00	1,09	2,89	2,96	3,07	0,42	0,40	0,41	0,40	0,39	
0,08	0,62	0,68	0,71	0,92	1,05	1,13	1,72	1,79	1,96	4,75	4,95	5,10	0,71	0,68	0,71	0,68	0,67	
0,10	0,96	1,07	1,09	1,45	1,63	1,76	2,71	2,84	3,10	7,09	7,38	7,57	1,07	1,07	1,11	1,06	1,03	
0,12	1,39	1,55	1,59	2,17	2,37	2,56	3,97	4,17	4,55	9,95	10,34	10,55	1,55	1,56	1,62	1,54	1,50	
0,14	1,95	2,12	2,19	3,11	3,32	3,55	5,53	5,82	6,31	13,35	13,89	14,14	2,14	2,17	2,23	2,14	2,06	
0,16	2,66	2,85	2,99	4,36	4,54	4,81	7,43	7,84	8,43	17,32	17,94		2,89	2,93	2,98	2,91	2,72	
0,18	3,57	3,81	4,02	5,92	6,13	6,38	9,68	10,20	10,89				3,88	3,93	3,93	3,89	3,60	
0,20	4,80	5,21	5,46	7,85	8,12	8,42	12,34	13,11	13,77				5,20	5,28	5,21	5,21	4,86	
0,22	6,52	7,20	7,69	10,20	10,60	11,04							7,04	7,17	7,11	7,06	6,71	

F <sub>n</sub> [—]	Versuch 18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
																	a	b
0,04	0,31	0,26	0,24	0,30	0,33	0,19	0,21	0,23	0,34	0,36	0,38	0,12	0,13	0,14	0,20			
0,06	0,68	0,56	0,55	0,66	0,75	0,40	0,46	0,51	0,73	0,78	0,86	0,26	0,28	0,30	0,42			
0,08	1,19	0,98	0,99	1,18	1,33	0,71	0,81	0,89	1,25	1,36	1,53	0,44	0,48	0,51	0,74			
0,10	1,84	1,53	1,59	1,89	2,11	1,12	1,27	1,40	1,93	2,11	2,41	0,68	0,74	0,78	1,15			
0,12	2,66	2,24	2,37	2,81	3,07	1,65	1,88	2,05	2,75	3,07	3,49	0,99	1,07	1,12	1,67			
0,14	3,67	3,13	3,32	3,86	4,26	2,31	2,64	2,86	3,77	4,23	4,81	1,39	1,49	1,56	2,30	2,21	2,17	2,17
0,16	4,93	4,31	4,47	5,08	5,67	3,12	3,56	3,85	5,03	5,64	6,39	1,89	2,02	2,13	3,08	2,94	2,87	2,87
0,18	6,50	5,82	5,90	6,59	7,35	4,14	4,72	5,08	6,60	7,39	8,26	2,54	2,72	2,87	4,05	3,84	3,72	3,69
0,20	8,45	7,75	7,75	8,49	9,39	5,56	6,27	6,68	8,62	9,54	10,54	3,43	3,69	3,89	5,36	5,03	4,83	4,76
0,22	10,98	10,21	10,11	10,92	11,97	7,68	8,41	8,96	11,20	12,32	13,42	4,71	5,09	5,38	7,29	6,76	6,48	6,31

Reibungswiderstand R <sub>F</sub> [Mp]																	Tafel 7.2.	
F <sub>n</sub> [—]	Versuch 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
0,04	0,11	0,11	0,13	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	
0,06	0,23	0,24	0,27	0,23	0,25	0,27	0,24	0,25	0,27	0,24	0,23	0,27	0,25	0,25	0,24	0,25	0,24	
0,08	0,40	0,42	0,46	0,40	0,43	0,47	0,40	0,43	0,47	0,40	0,42	0,47	0,43	0,43	0,42	0,43	0,42	
0,10	0,61	0,65	0,70	0,61	0,66	0,71	0,61	0,65	0,70	0,61	0,65	0,71	0,64	0,66	0,65	0,66	0,63	
0,12	0,86	0,92	1,00	0,86	0,92	0,99	0,86	0,92	0,99	0,86	0,92	0,99	0,92	0,93	0,92	0,94	0,90	
0,14	1,15	1,23	1,32	1,15	1,23	1,32	1,15	1,23	1,32	1,13	1,23	1,32	1,23	1,24	1,23	1,25	1,20	
0,16	1,48	1,59	1,70	1,48	1,58	1,70	1,48	1,58	1,70	1,48	1,56		1,59	1,59	1,58	1,62	1,53	
0,18	1,85	1,98	2,14	1,85	1,98	2,12	1,84	1,97	2,13				1,99	2,00	1,98	2,03	1,92	
0,20	2,26	2,45	2,60	2,26	2,43	2,60	2,26	2,43	2,59				2,43	2,44	2,42	2,46	2,34	
0,22	2,70	2,92	3,11	2,70	2,91	3,10							2,92	2,91	2,89	2,93	2,81	

F <sub>n</sub> [—]	Versuch 18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
																	a	b
0,04	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,10	0,11	0,11	0,12			
0,06	0,25	0,24	0,22	0,25	0,27	0,23	0,25	0,26	0,23	0,25	0,26	0,21	0,22	0,24	0,25			
0,08	0,43	0,42	0,40	0,43	0,46	0,39	0,42	0,45	0,39	0,42	0,45	0,36	0,38	0,40	0,43			
0,10	0,65	0,64	0,60	0,65	0,69	0,60	0,64	0,68	0,60	0,64	0,68	0,55	0,59	0,62	0,66			
0,12	0,92	0,90	0,85	0,92	0,98	0,84	0,91	0,96	0,84	0,91	0,96	0,77	0,82	0,87	0,93			
0,14	1,23	1,20	1,13	1,22	1,31	1,12	1,21	1,29	1,12	1,21	1,29	1,03	1,10	1,16	1,25	1,26	1,27	1,27
0,16	1,59	1,54	1,46	1,57	1,68	1,45	1,56	1,66	1,45	1,56	1,66	1,33	1,42	1,50	1,60	1,62	1,63	1,63
0,18	2,00	1,92	1,82	1,97	2,10	1,81	1,95	2,08	1,81	1,95	2,08	1,66	1,77	1,87	2,01	2,03	2,04	2,04
0,20	2,43	2,35	2,23	2,40	2,56	2,21	2,38	2,53	2,21	2,38	2,53	2,02	2,16	2,28	2,45	2,48	2,49	2,49
0,22	2,92	2,81	2,67	2,87	3,07	2,64	2,84	3,03	2,64	2,84	3,03	2,42	2,58	2,73	2,93	2,97	2,98	2,98

Restwiderstand R <sub>R</sub> [Mp]																	Tafel 7.3.	
F <sub>n</sub> [—]	Versuch 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
0,04	0,06	0,08	0,09	0,13	0,16	0,17	0,31	0,31	0,35	1,32	1,35	1,39	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	
0,06	0,13	0,15	0,15	0,29	0,35	0,37	0,72	0,75	0,82	2,65	2,73	2,80	0,17	0,15	0,17	0,15	0,15	
0,08	0,22	0,26	0,25	0,52	0,62	0,66	1,32	1,36	1,49	4,35	4,53	4,63	0,28	0,25	0,28	0,25	0,25	
0,10	0,35	0,42	0,39	0,84	0,97	1,05	2,10	2,19	2,40	6,48	6,73	6,86	0,43	0,41	0,46	0,40	0,40	
0,12	0,53	0,63	0,59	1,31	1,45	1,57	3,11	3,25	3,56	9,09	9,42	9,56	0,63	0,63	0,70	0,60	0,60	
0,14	0,80	0,89	0,87	1,96	2,10	2,23	4,38	4,59	4,99	12,22	12,66	12,82	0,91	0,93	1,00	0,89	0,86	
0,16	1,18	1,27	1,29	2,88	2,96	3,11	5,95	6,26	6,73	15,84	16,38		1,30	1,34	1,40	1,29	1,19	
0,18	1,72	1,83	1,88	4,07	4,15	4,26	7,84	8,23	8,76				1,89	1,93	1,95	1,86	1,68	
0,20	2,54	2,76	2,86	5,59	5,69	5,82	10,08	10,68	11,18				2,77	2,84	2,79	2,75	2,52	
0,22	3,82	4,28	4,58	7,50	7,69	7,94							4,12	4,26	4,22	4,13	3,90	

F <sub>n</sub> [—]	Versuch 18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
																	a	b
0,04	0,19	0,15	0,13	0,18	0,21	0,08	0,10	0,11	0,23	0,24	0,26	0,02	0,03	0,03	0,08			
0,06	0,43	0,32	0,32	0,42	0,48	0,18	0,22	0,24	0,50	0,53	0,60	0,05	0,06	0,06	0,18			
0,08	0,76	0,56	0,59	0,76	0,88	0,32	0,39	0,44	0,86	0,94	1,08	0,08	0,10	0,10	0,31			
0,10	1,19	0,89	0,99	1,24	1,41	0,52	0,63	0,72	1,33	1,47	1,72	0,13	0,16	0,16	0,50			
0,12	1,74	1,34	1,52	1,89	2,10	0,81	0,98	1,09	1,91	2,16	2,53	0,22	0,25	0,25	0,74			
0,14	2,44	1,93	2,18	2,64	2,95	1,18	1,43	1,57	2,84	3,02	3,52	0,35	0,39	0,40	1,06	0,95	0,90	0,90
0,16	3,34	2,77	3,01	3,51	3,98	1,67	2,00	2,19	3,58	4,08	4,73	0,56	0,61	0,63	1,47	1,31	1,24	1,23
0,18	4,50	3,90	4,08	4,62	5,24	2,33	2,78	3,00	4,79	5,44	6,19	0,88	0,95	1,00	2,04	1,81	1,68	1,65
0,20	6,02	5,40	5,53	6,08	6,84	3,36	3,88	4,16	6,42	7,16	8,01	1,41	1,53	1,61	2,90	2,55	2,34	2,27
0,22	8,06	7,40	7,44	8,05	8,90	5,04	5,56	5,93	8,56	9,47	10,38	2,28	2,50	2,66	4,37	3,80	3,49	3,33

Tafel 8. Spezifischer Restwiderstand der Großausführung als  $f(F_n)$ , umgerechnet nach ATTC 1947

$F_n$ [—]	Versuch 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0.04	0.05	0.06	0.06	0.11	0.12	0.11	0.26	0.22	0.22	1.08	0.97	0.89	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05
0.06	0.11	0.11	0.10	0.24	0.25	0.24	0.59	0.54	0.52	2.17	1.96	1.79	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11
0.08	0.18	0.19	0.16	0.43	0.44	0.42	1.08	0.97	0.95	3.56	3.25	2.96	0.20	0.18	0.20	0.18	0.18
0.10	0.29	0.30	0.25	0.69	0.69	0.67	1.72	1.57	1.53	5.31	4.83	4.38	0.31	0.29	0.33	0.29	0.29
0.12	0.44	0.45	0.38	1.07	1.04	1.00	2.54	2.33	2.28	7.46	6.75	6.11	0.45	0.45	0.50	0.43	0.43
0.14	0.65	0.64	0.56	1.61	1.51	1.43	3.59	3.30	3.19	10.02	9.07	8.20	0.65	0.67	0.72	0.64	0.62
0.16	0.97	0.91	0.82	2.36	2.13	1.99	4.88	4.49	4.30	13.00	11.75		0.93	0.96	1.00	0.92	0.85
0.18	1.41	1.31	1.20	3.34	2.97	2.72	6.43	5.91	5.60				1.35	1.38	1.40	1.33	1.20
0.20	2.08	1.97	1.83	4.58	4.08	3.72	8.27	7.65	7.15				1.98	2.03	2.00	1.97	1.80
0.22	3.14	3.07	2.93	6.15	5.51	5.08							2.95	3.05	3.02	2.96	2.79

$F_n$ [—]	Versuch 18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
0.04	0.14	0.11	0.12	0.14	0.12	0.07	0.07	0.07	0.20	0.18	0.17	0.02	0.02	0.02	0.06		
0.06	0.31	0.23	0.28	0.31	0.32	0.15	0.16	0.16	0.43	0.40	0.40	0.04	0.04	0.04	0.13		
0.08	0.54	0.40	0.51	0.57	0.59	0.27	0.29	0.29	0.74	0.70	0.73	0.07	0.07	0.07	0.23		
0.10	0.85	0.64	0.85	0.94	0.94	0.45	0.47	0.48	1.14	1.11	1.15	0.11	0.11	0.10	0.35		
0.12	1.25	0.96	1.30	1.42	1.40	0.69	0.73	0.73	1.84	1.62	1.69	0.18	0.18	0.16	0.53		
0.14	1.75	1.38	1.87	1.98	1.97	1.01	1.07	1.05	2.27	2.27	2.36	0.29	0.28	0.26	0.76	0.68	0.65
0.16	2.39	1.98	2.58	2.64	2.66	1.42	1.50	1.47	3.08	3.07	3.17	0.46	0.43	0.40	1.06	0.94	0.89
0.18	3.22	2.78	3.50	3.48	3.50	1.99	2.08	2.01	4.12	4.09	4.15	0.73	0.68	0.64	1.46	1.30	1.20
0.20	4.31	3.86	4.74	4.58	4.56	2.86	2.91	2.79	5.52	5.39	5.37	1.16	1.09	1.03	2.08	1.82	1.67
0.22	5.77	5.30	6.39	6.06	5.94	4.29	4.17	3.97	7.37	7.13	6.96	1.88	1.79	1.70	3.13	2.72	2.50

Tafel 9. Widerstand der Wellenhosen an der Großausführung

$F_n$ [—]	$R_B$ [kp]	$\frac{R_B}{R_T} \cdot 100$ [—]
0.04	6.0	3.08
0.06	13.5	3.31
0.08	24.1	3.37
0.10	37.6	3.38
0.12	54.2	3.36
0.14	73.7	3.30
0.16	96.3	3.23
0.18	121.8	3.10
0.20	150.4	2.89
0.22	182.0	2.56
0.2332	204.5	2.30

Die weitere Wiedergabe der auf die Großausführung umgerechneten Versuchsergebnisse erfolgt vor allem im Hinblick auf ihre Verwendung beim Nachrechnen des Widerstandes vorhandener Bagger bzw. zum Optimieren der Schiffsförm und Vorausbestimmen des Widerstandes beim Entwurf. Selbstverständlich gelten alle Ergebnisse und Schlußfolgerungen nur für die Fahrt in unbeschränktem Fahrwasser.

### 3.2. Verfahren zur Berechnung des Widerstandes von Baggern

Die Bilder 17 bis 24 zeigen den spezifischen Restwiderstand in Abhängigkeit von  $F_n$ . Sie vermitteln eine Übersicht über den Einfluß der geänderten Kenngrößen der Schiffsförm und der Schlitzlage innerhalb der Untersuchungsgruppen: Tiefgang (Bilder 17, 21, 22, 24), Eimerleiter (18, 23), Schlitzabschluß (19) und Trimm (20). Durch die Wahl des spezifischen Restwiderstandes als Ordinate stellen diese Schaubilder ein Berechnungsverfahren für herkömmliche See-Eimerbagger mit Heck- oder Bugschlitz dar, sofern die auf den Schaubildern angegebenen dimensionslosen Parameter auch nur ungefähr zutreffen. Dies wird im allgemeinen der Fall sein, da sich die Abmessungen moderner See-Eimerbagger durch den Kompromiß zwischen Seeschiff und Arbeitsgerät nicht sprunghaft ändern werden.

Änderungen der Spantförm bei gleichbleibendem Hauptspant wurden in der vorliegenden systematischen Versuchsreihe zwar nicht untersucht, jedoch ließen sich hierdurch vermutlich nur geringfügige Widerstandsänderungen erreichen, da die Froudesche Zahl bei Dienstgeschwindigkeit erst etwa 0,17 und der Reibungsanteil am Gesamtwiderstand für die Grundförm mit

Heckschlitz ohne Eimerleiter noch etwa 50...60% beträgt. Der Anteil des Restwiderstandes am Gesamtwiderstand wird bei der schlitzlosen Förm sogar auf 30...35% herabgesetzt. Dies entspricht im Mittel auch weniger extremen Schiffsförm bei gleichem  $F_n$ . Eine wesentliche Veränderung des Wellenbildes und damit des Wellenwiderstandes als Hauptanteil des Restwiderstandes bei weiterer Geschwindigkeitserhöhung ist für die vorliegenden Förmparameter nur durch einschneidende Förmänderungen möglich.

Die Berechnung des Gesamtwiderstandes nach den Schaubildern 17 bis 24 erfolgt bei genügender Übereinstimmung der auf diesen angegebenen Kenngrößen mit den Entwurfsdaten nach der Gleichung

$$R_T = f_s \left( R_F + \Delta_D \cdot \frac{R_R}{\Delta} \right) \text{ [kp].} \quad (1)$$

Hierin ist  $\frac{R_R}{\Delta}$  aus den genannten Bildern bzw. aus Tafel 8 als  $f(F_n)$  abzulesen und mit dem vorhandenen Displacement  $\Delta_D$  zu multiplizieren. Der Reibungswiderstand  $R_F$  sollte entsprechend neueren Erkenntnissen mit den  $C_F$ -Werten nach der ITTC-1957-Korrelationslinie berechnet werden. In diesem Fall sind die abgelesenen Werte durch Abzug der in Tafel 10 angegebenen Werte zu korrigieren. Diese wurden als Mittelwerte für die Modelle mit Schlitz und ohne Schlitz berechnet, wobei letztere Einteilung durch die größere Differenz von  $\frac{S}{\nabla^2}$  für beide Grundförm bedingt war.

Die Abweichungen der Versuchstemperaturen und der übrigen  $\frac{S}{\nabla^2}$ -Werte voneinander beeinflussten die 2. Dezimalstelle nicht mehr, so daß die Genauigkeit der Korrekturwerte mit der Ablesegenauigkeit für die Bilder 17 bis 24 übereinstimmt. Beim Verwenden der Werte nach der ATTC 1947 für die Bestimmung von  $R_T$  entfällt die Korrektur. Der vorgeschriebene bzw. anzusetzende Zuschlag für die Außenhautrauigkeit beträgt wie bereits unter 2.2 angegeben:

$$\Delta C_F = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ [—] (ATTC 1947)}$$

$$\Delta C_F = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ [—] (ITTC 1957).}$$

Sollte die benetzte Oberfläche unbekannt sein, so kann sie näherungsweise mit dem vorhandenen  $\frac{S}{\nabla^2}$  über den-

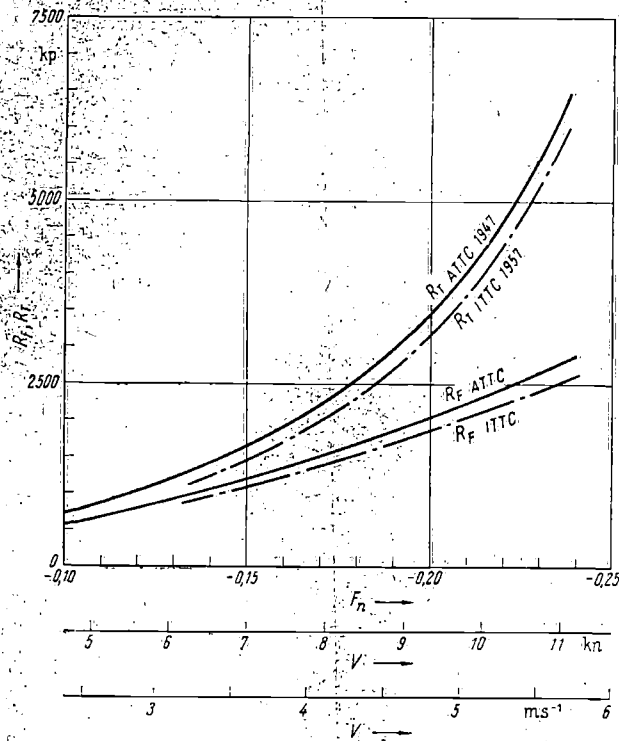


Bild 13. Widerstandswerte der Großausführung für See-Eimerbagger ohne Schlitz ( $T_M = 2,40$  m)

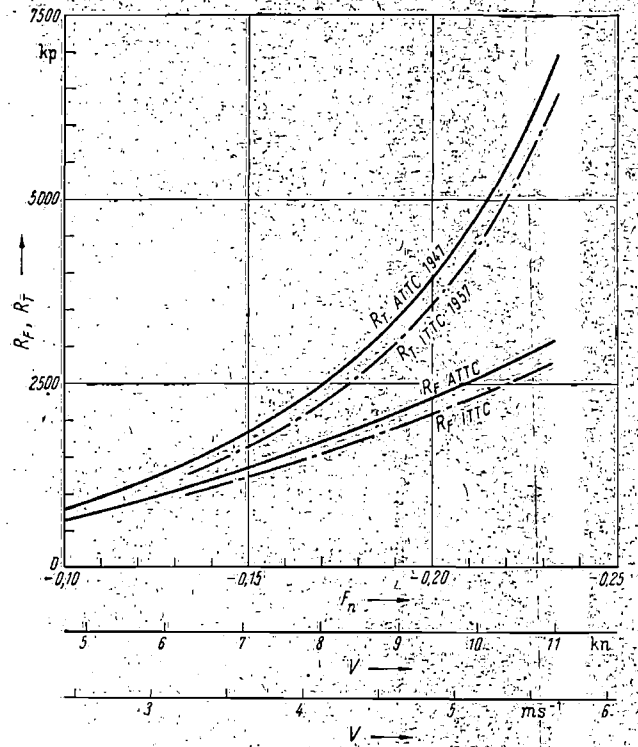


Bild 15. Widerstandswerte der Großausführung für See-Eimerbagger ohne Schlitz ( $T_M = 3,00$  m)

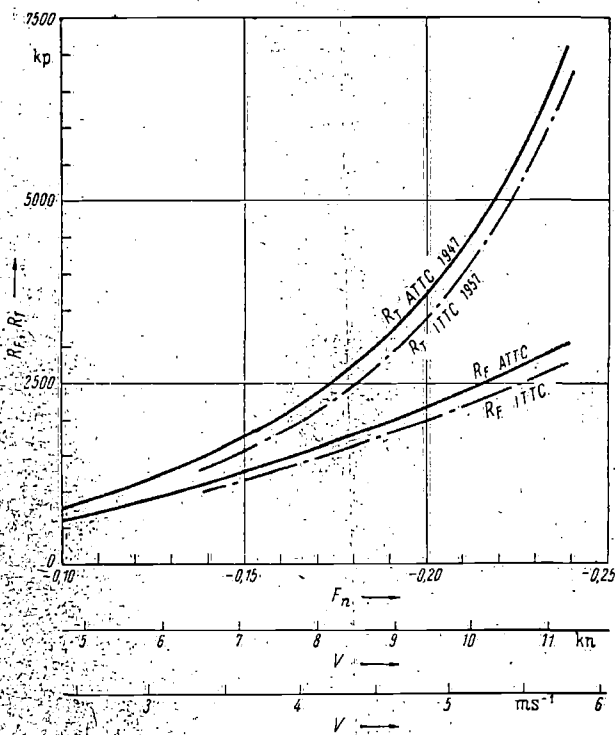


Bild 14. Widerstandswerte der Großausführung für See-Eimerbagger ohne Schlitz ( $T_M = 2,70$  m)

jenigen Wert von  $\frac{S}{\sqrt[3]{\Delta}}$  bestimmt werden, der zu den jeweiligen Ausgangsdaten auf den Schaubildern gehört. Der Korrekturfaktor  $f_s$  für abweichende Schlitzparameter läßt sich beim Vorhandensein eines Heckschlitzes nach Gleichung (2) berechnen

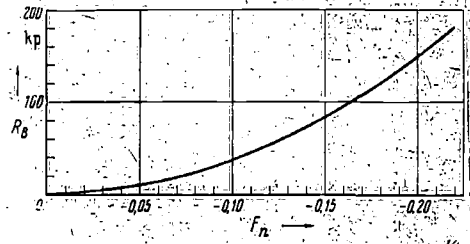


Bild 16. Widerstand der Wellenhosen an der Großausführung

$f_s = \frac{\text{Ordinate für vorhandene Schlitzdaten}}{\text{Ordinate für Schlitzdaten der untersuchten Form}} \quad (2)$

wobei die zugehörigen Ordinaten aus dem räumlichen Schaubild 25 abzulesen sind. Für die Korrektur der Versuchsergebnisse vorliegender Arbeit beträgt der Nenner in Gl. (2) nach Ableitung 1,27. Bild 25 stellt eine zusammenfassende Darstellung der Versuchsergebnisse betreffs Schlitzdatenvariation aus den bereits zitierten Diplomarbeiten Morgenroth und Rohde (Literaturstellen [14] und [16] in [7]) dar. Die in jenen Arbeiten vorhandenen acht Schaubilder für die in Bild 25 gekennzeichneten Standardschlitzdaten konnten nur nach Ausschalten des Parameters  $V$  bzw.  $F_n$  in geschlossener Form dargestellt werden. Diese Elimination erfolgte durch Mittelwertbildung für das Verhältnis  $\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_s : \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)$  innerhalb des Bereiches kleinster Streuung  $5 \leq V$  [kn]  $\leq 10$ , der  $0,1156 \leq F_n \leq 0,2312$  entspricht und die bei Baggern übliche Dienstgeschwindigkeit einschließt. Zum Berechnen der Verhältniswerte verwendete der Bearbeiter die in den Diplomarbeiten auf die Großausführung umgerechneten Versuchsergebnisse. Die Streuung der Werte im angegebenen Bereich vor der Mittelwertbildung ist aus Tafel 11 ersichtlich. Sie ist verhältnismäßig groß, jedoch für die genannte Verwendung durchaus zulässig. Anlaß für eine Ausmittlung über  $F_n$

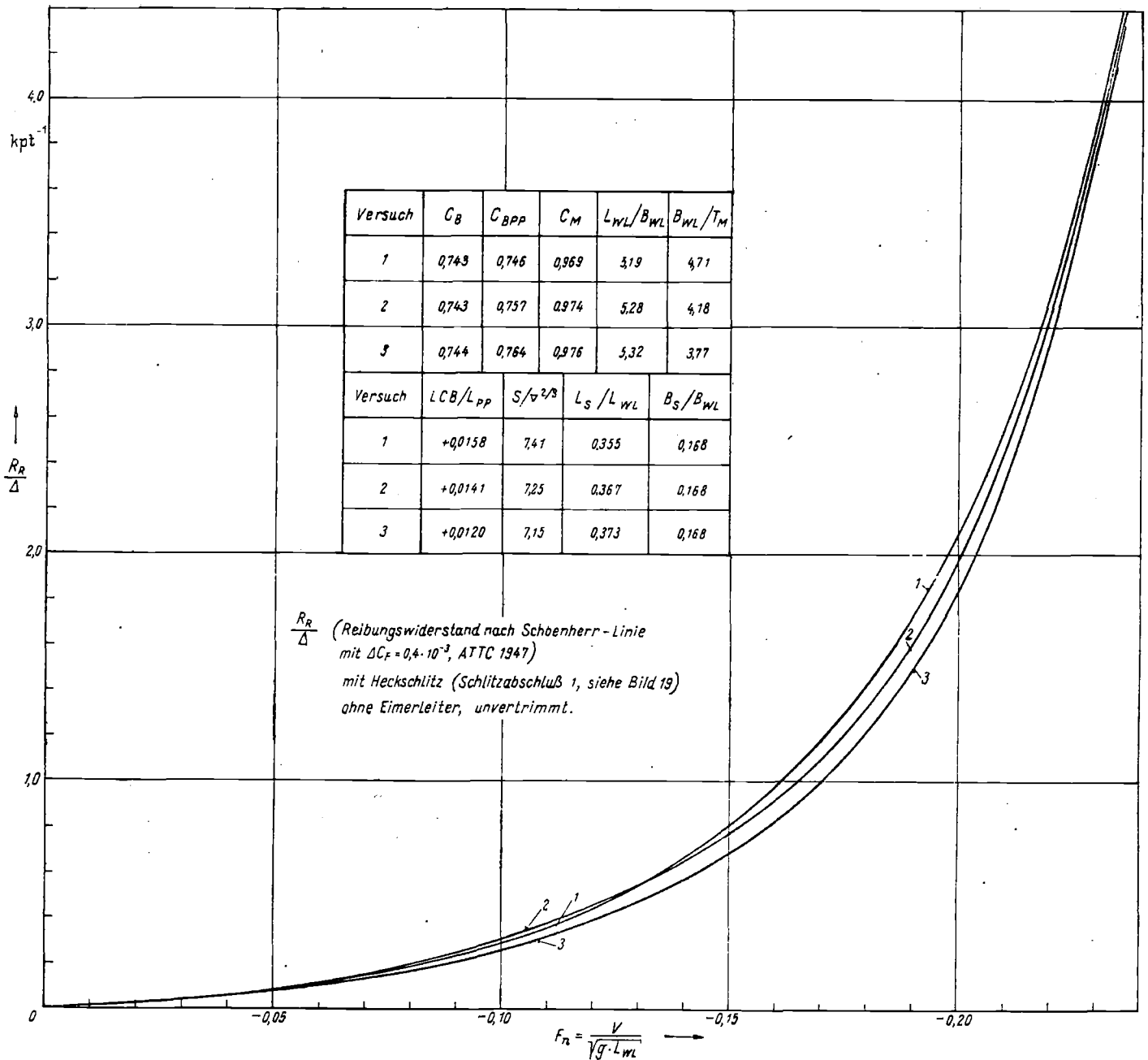


Bild 17 bis 24. Spezifischer Restwiderstand der Großausführung für See-Eimerbagger

war die aus Bild 26 nach eigenen Versuchsergebnissen am größeren Modell ( $L_{WL} = 3,25$  m gegenüber  $L_{WL} = 2$  m bei den Diplomarbeiten) gewonnene Erkenntnis, daß sich ein nahezu konstanter Wert für das angegebene Verhältnis unabhängig von  $F_n$  und vom Tiefgang bei der Heckschlitzform mit konventionellem Schlitzabschluß ergab. Der so bestimmte Mittelwert 1,41 weicht von dem für gleiche dimensionslose Schlitzdaten aus Bild 25 abgelesenen Wert 1,27 aus folgenden Gründen erheblich ab:

1. Bei der ersten systematischen Schleppversuchsreihe mit einem Baggermodell am ITS (Diplomarbeiten) wurden in eine konstante Ausgangsform Schlitz verschiedener Abmessungen eingearbeitet, die stets zu einem kleineren Displacement gegenüber der Ausgangsform führten (Tafel 12). Dagegen blieb das Displacement bei der vorliegenden Versuchsreihe innerhalb eines jeden Untersuchungstiefganges unabhängig von Vorhandensein und Lage eines Schlitzes nahezu konstant.

2. Im Rahmen der vorliegenden Versuchsreihe wurde eine weniger völlige Ausgangsform untersucht, die auch kein Spiegelheck mehr aufweist. Dadurch ist ihr spezifischer Gesamtwiderstand geringer (Bild 27).

Mit dem kleineren Nenner  $\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)$  wird  $\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_s : \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)$  jedoch größer.

Wird ein auf diesen Gründen beruhender rechnerischer Nachweis (in 3.3) ausgeführt, bleibt schließlich nur eine geringe Abweichung der nach den Bildern 25 und 26 bestimmten Werte übrig, so daß der aus Bild 25 ermittelte Schlitzkorrekturfaktor  $f_s$  eine ausreichende Genauigkeit zur Verwendung in Gl. (1) aufweist. Darüber hinaus kann Bild 25 allgemein zum Bestimmen des Widerstandes verwendet werden, wenn eine Ausgangsform mit einem Schlitz versehen werden soll. Dieser Fall tritt z. B. bei Saugbaggern mit kurzem Heckschlitz ein. In derartigen Fällen wird der spezifische Gesamtwiderstand einschließlich Schlitzwiderstand nach Gl. (3) bestimmt:

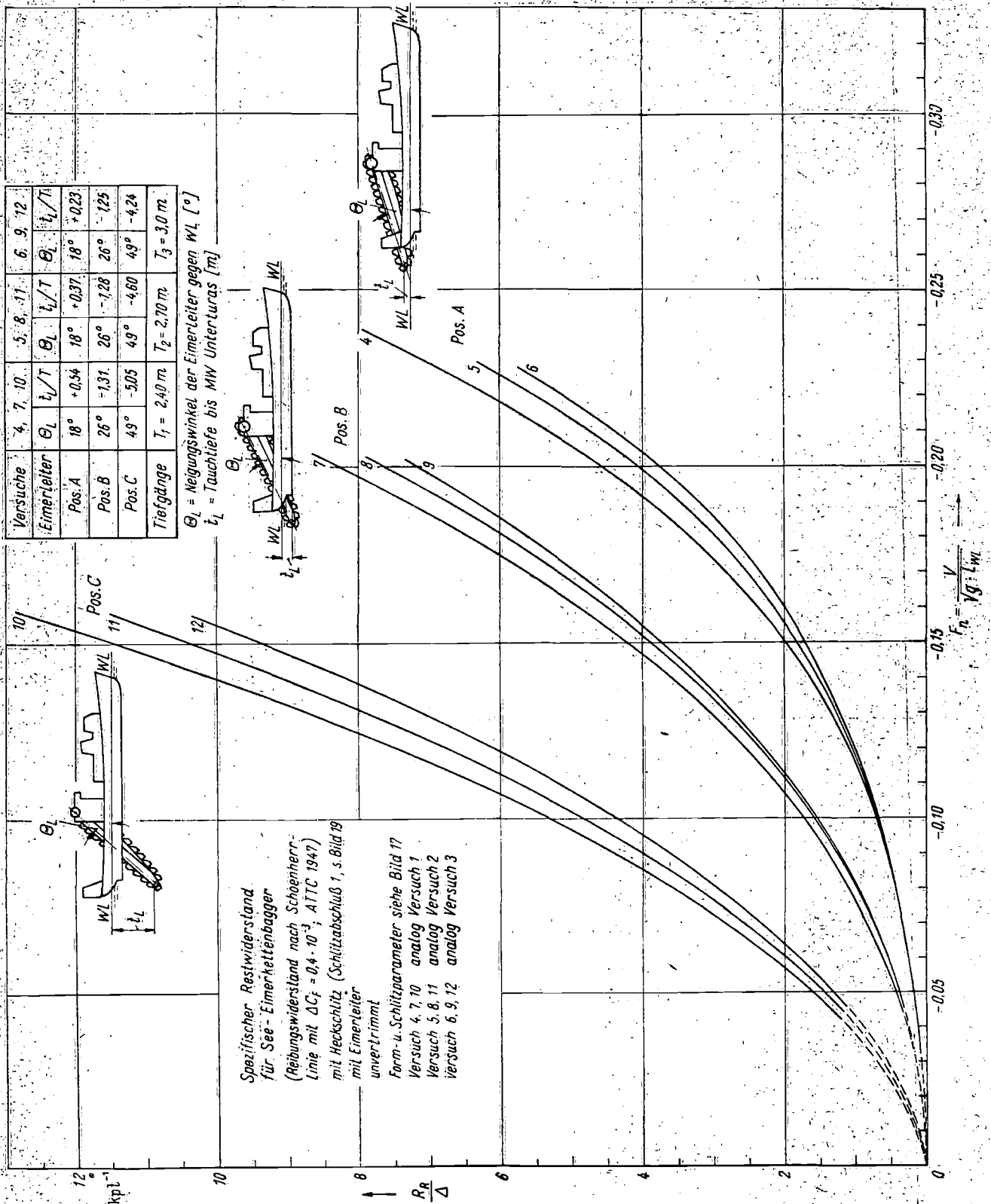
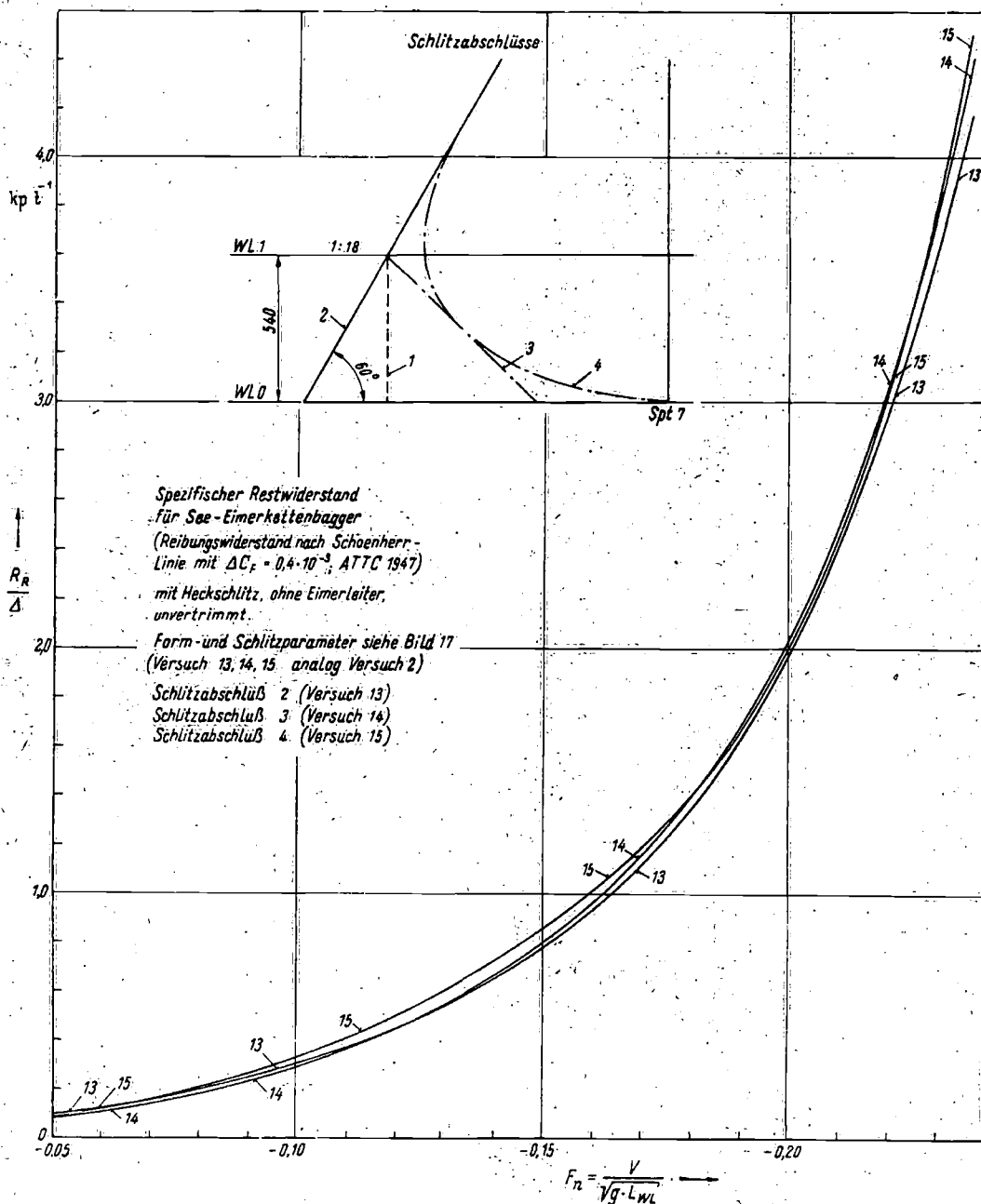


Bild 18

$$\left(\frac{R_T}{\Delta s}\right)_s = \left[\left(\frac{R_T}{\Delta s}\right)_s \cdot \frac{R_T}{\Delta}\right] \cdot \left[\frac{R_T}{\Delta} \cdot \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_D\right] \cdot \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_D \quad (3)$$

Hierin ist der Zahlenwert für den ersten Term aus Bild 25 abzulesen. Der zweite Term stellt den Korrekturfaktor für abweichenden spezifischen Gesamtwiderstand der schlitzlosen Ausgangsform nach Entwurf  $\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_D$  von

demjenigen der Spiegelheckform ohne Schlitz  $\frac{R_T}{\Delta}$  nach Bild 27 bzw. Tafel 13 dar. Er ist möglichst für die  $F_n$ -Zahl bei Dienstgeschwindigkeit und für gleiches  $\frac{B}{T}$  zu ermitteln. Sofern beim Entwurf kein Schleppversuchsergebnis vorliegt, kann  $\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_D$  aus den Verfahren von



Gerler [19] bzw. Pawlenko [20], die eine Überarbeitung der bekannten Taylor-Serie darstellen, für das Vorprojekt im Bereich der Dienstgeschwindigkeit ausreichend genau bestimmt werden (vgl. 3.3).

Beim Entwurf der Schiffsförm von See-Eimerbaggern wird der Schlitz im Regelfall von vornherein berücksichtigt. Falls vorhandene Formen oder Neuentwürfe mit Heckschlitz vom Gültigkeitsbereich der Schaubilder für den spezifischen Restwiderstand bei üblichem Schlitzabschluß abweichen, kann ihr Widerstand nach Gl. (4) bestimmt werden:

$$\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_s = f_s \cdot 1,41 \cdot \left[\frac{R_T}{\Delta} : \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_D\right] \cdot \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_D \quad (4)$$

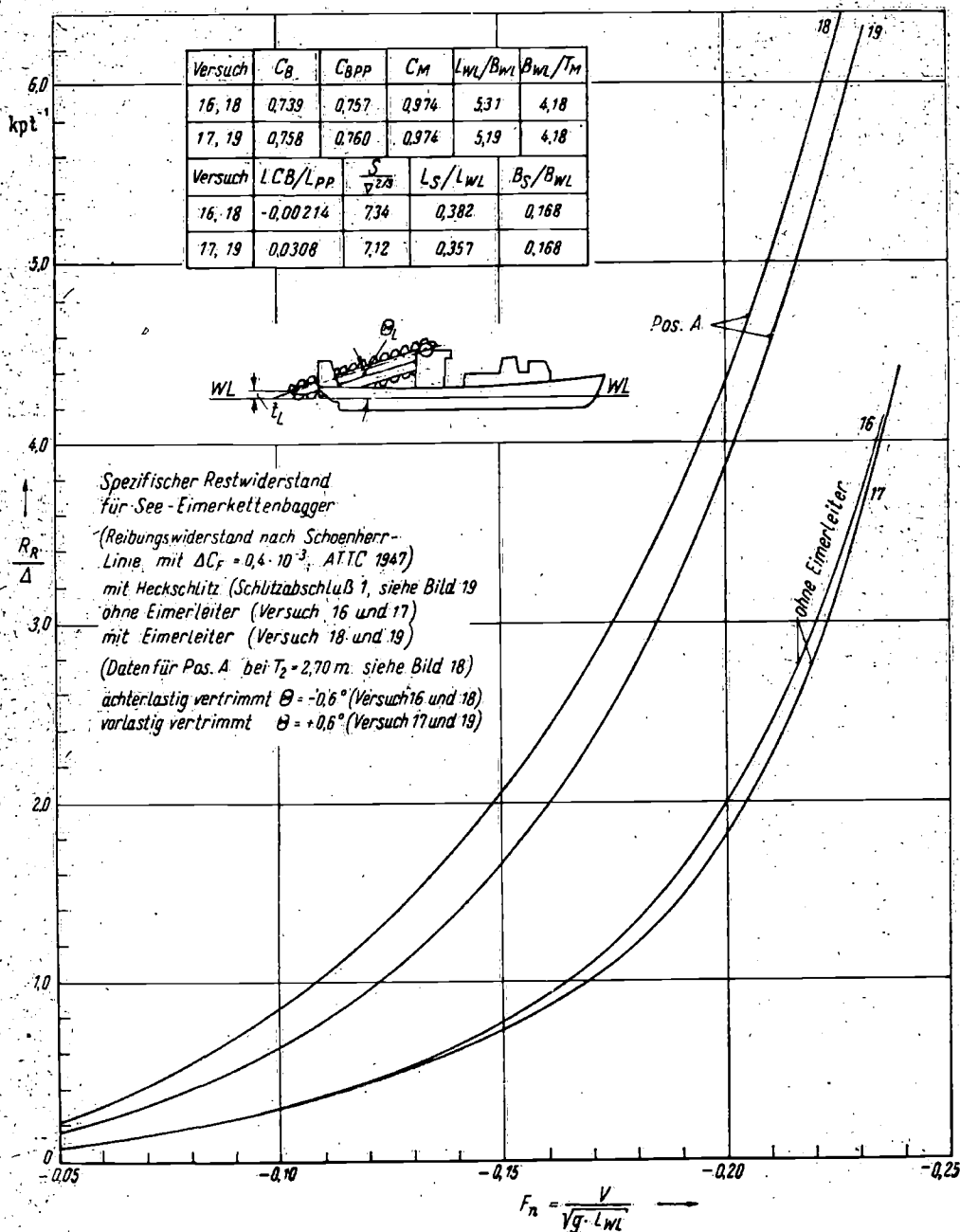
Hierin ist  $\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_D$  wiederum nach [19] oder [20] im Bereich der Dienstgeschwindigkeit ausreichend genau zu ermitteln, jedoch für die schlitzlose Förm mit gleichem Displacement. Weil der Mittelwert 1,41 mit ausreichender Näherung für den gesamten untersuchten

$\frac{B}{T}$ -Bereich gilt, ist der Korrekturfaktor für den spezifischen Gesamtwiderstand aus dem Verhältnis  $\frac{R_T}{\Delta}$  nach Bild 27 bzw. Tafel 13 zu  $\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_D$  bei möglichst gleichem  $\frac{B}{T}$  zu bilden, damit nur der durch andere Parameter bedingte Unterschied der spezifischen Gesamtwiderstände berücksichtigt wird.

Der Widerstand der Wellenhosen kann bei nahezu gleichen Hauptabmessungen des Schiffes direkt dem Bild 16 entnommen werden. Bei veränderten Schiffsdaten, jedoch ähnlichen dimensionslosen Parametern für die Wellenhosen ergibt sich deren Widerstand näherungsweise zu:

$$R_{B} = 0,032 \left[\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_{\text{Versuch 15}} : \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_D\right] \cdot (R_T)_D \text{ [kp]} \quad (5)$$

Die in den Gln. (3) bis (5) verwendete Korrektur mittels der spezifischen Gesamtwiderstände schließt die sonst übliche Korrektur des Reibungswiderstandes bei



unterschiedlicher Schiffslänge ein. Die benötigten Bezugsgrößen  $\frac{R_T}{\Delta}$  wurden in Tafel 13 für beide angegebenen Reibungslinien einschließlich Rauheitszuschlägen aufgeführt, obwohl die nach der ITTC-1957-Korrelationslinie bestimmten Werte vorgezogen werden sollten. Werden in den Gln. (3) bis (5) die ITTC-1957-Werte und zur Ermittlung von  $\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_D$  die Verfahren nach [19] oder [20] verwendet, so wären grundsätzlich auch hier Korrekturen für den Unterschied der Reibungslinien notwendig, denn beide Verfahren beruhen auf der Umrechnung nach der Schoenherr-Linie. Da aber die  $R_n$ -Zahlen für die bei der Taylor-Serie verwendeten Modelle mit  $L = 6,25$  m verhältnismäßig groß sind, kann im Unterschied zu den nach Bild 17 bis 24 bestimmten Widerständen hier von einer Korrektur abgesehen werden. Durch diese Vernachlässigung wird  $\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_D$  bei Geschwindigkeiten unterhalb der Dienstgeschwindigkeit im Mittel um 3% zu groß bestimmt. Der

prozentuale Fehler nimmt wie bei den meisten Reibungskorrekturen mit zunehmender Geschwindigkeit ab.

Der Zusatzwiderstand infolge der Eimerleiter wurde für die Heckschlitzform aus Tafel 7.3 nach der Gleichung

$$R_L = (R_R)_L - R_R \quad [Mp] \quad (6)$$

für einander zugeordnete Versuche ermittelt (Tafel 14) und in Bild 28 als Funktion der Tauchtiefe von Mitte Welle Unterturas (oberhalb der WL positiv, s. Bild 5) mit  $F_n$  als Parameter dargestellt. Hiernach läßt sich der Eimerleiterwiderstand für herkömmliche konstruktive (Arbeitstiefe, Eimergröße u. -form) und schiffbaulich (Stabilität) bedingte Form und Anordnung der Eimerleiter — Gesamtlänge und Neigungswinkel gegen die WL einbezogen — ausreichend genau berechnen.

### 3.3. Weitere Auswertung der Ergebnisse

#### 3.3.1. Einschätzung der einzelnen Schiffsförmern

Ein Vergleich der einzelnen Schiffsförmern kann schnell mit den Bildern 17 bis 24 durchgeführt werden, da sich



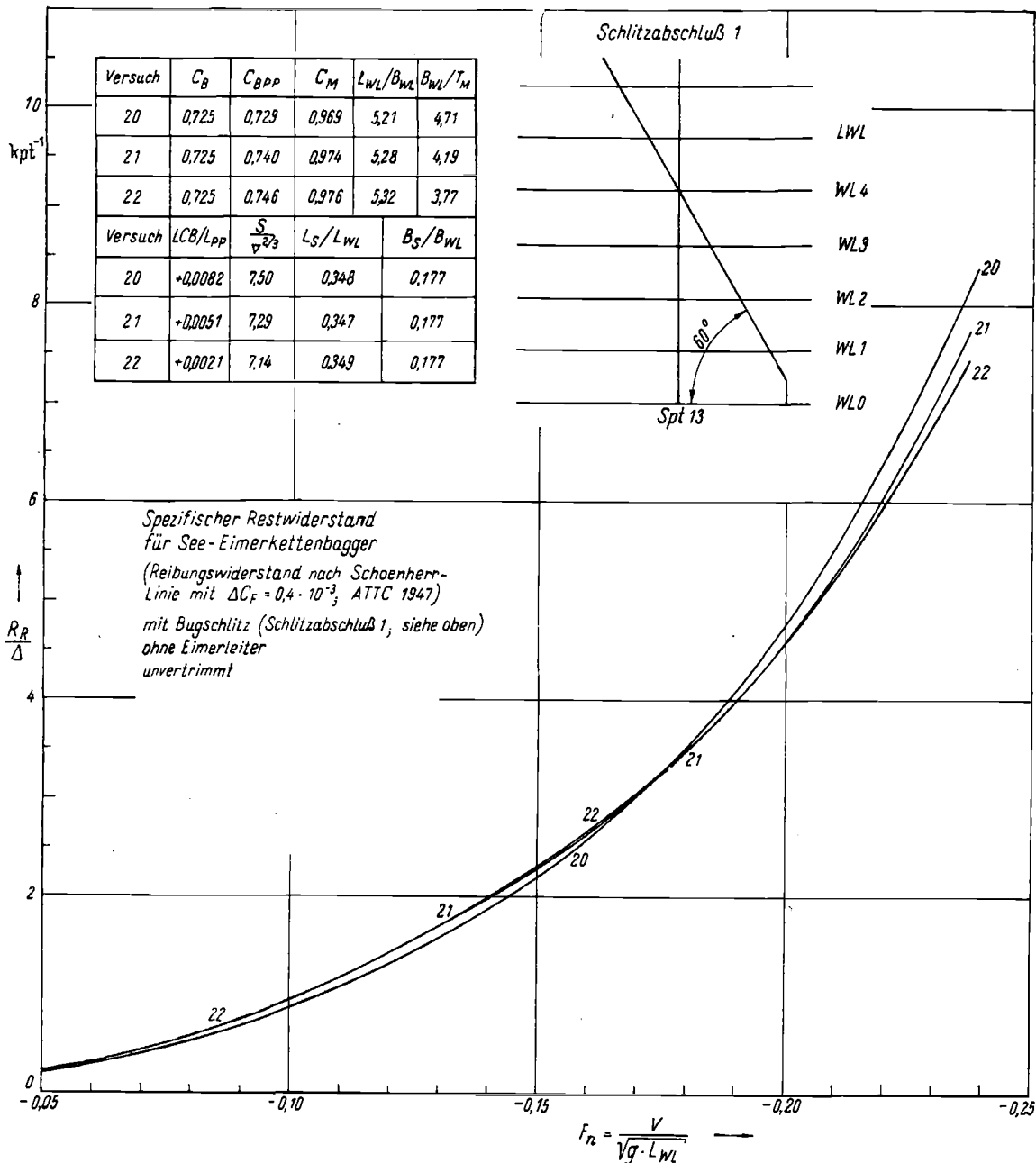


Bild 21

ihr Reibungswiderstand für gleichen Untersuchungstiefgang nur geringfügig ändert. Die widerstandsgünstigsten Formen für Glattwasser mit dem geringsten spezifischen Restwiderstand sind diejenigen mit dem größten Tiefgang und vorlastigen Trimm, sowohl für die Grundform ohne Eimerleiter als auch für diejenige mit angebrachter Eimerleiter. Der spezifische Reibungswiderstand besitzt die gleiche Tendenz, wie aus

$$\frac{S}{\Delta^{\frac{2}{3}}}$$

nach Tafel 2 ersichtlich ist. Der praktischen Verwirklichung einer Breitenreduktion sind allerdings durch den Maximaltiefgang und durch die Stabilität bestimmte Grenzen gesetzt. Die Stabilität von Eimerbaggern sollte jedoch unter Berücksichtigen des Schwingungsverhaltens nach *Braun* [7, 1. Beitrag] beurteilt werden, in dem eindeutig eine gewisse Überstabilität auch bei ungünstigen Stabilitätsfällen nachgewiesen wird. Der geringere Widerstand bei vorlastigem Trimm ist durch den kleineren Schlitzwiderstand gegenüber Achterlastigkeit bedingt. Allerdings wird er bei gleichzeitig

günstigen Propulsionseigenschaften praktisch kaum verwirklicht werden können.

Der Einfluß des veränderten Heckschlitzabschlusses ist für die im Bereich der WL 1 gewählten Formänderungen (1 ... 4 auf Bild 19) vernachlässigbar klein und liegt teilweise innerhalb der Meßgenauigkeit. Im Gegensatz hierzu ergaben sich unerwartet hohe Widerstandsänderungen bei den gewählten Bugschlitzabschlüssen 1 und 2. Eine Zwischenauswertung der Versuche ergab wegen zu hoher Widerstandswerte, daß der vom VEB Roßlauer Schiffswerft aus modelltechnischen Gründen vorläufig vorgesehene, auf 60° nach hinten geneigte Schlitzabschluß 1 (Bild 21) nicht beibehalten werden konnte. In Abstimmung mit dem VEB Roßlauer Schiffswerft wurde vom ITS ein Schlitzabschluß vorgeschlagen, der mit flacher Neigung nach vorn bis zur LWL und abgerundetem Übergang in den Modellboden etwa von Spt 13 ... 15 verlaufen sollte, um einen besseren Abfluß aus dem Bugschlitz ohne Bildung eines Staukeils zu gewährleisten. Aus konstruktiven Gründen (Mindestabstand von Mittel- und Vorderbock bei fest-

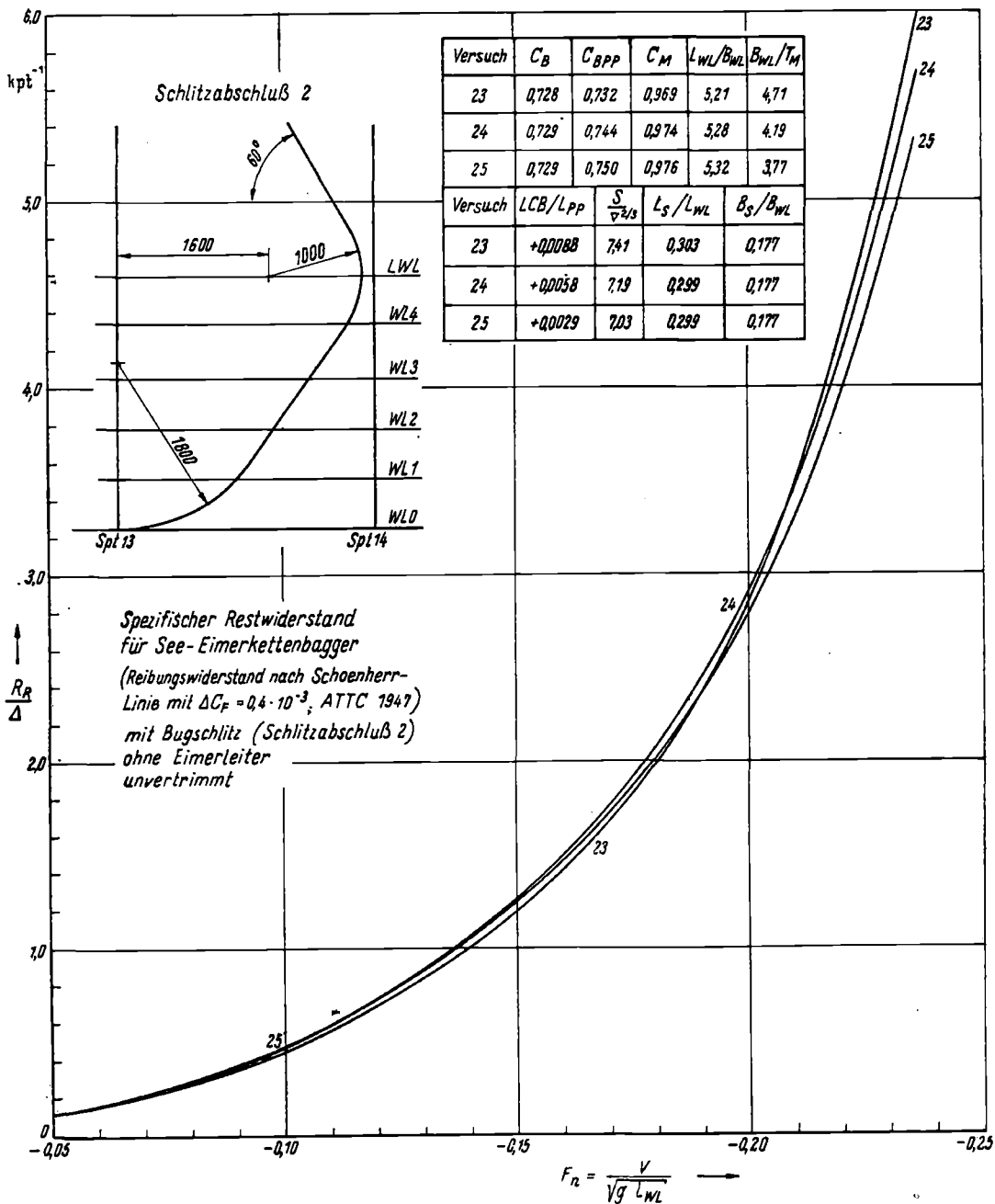


Bild 22

gelegter Länge der Eimerleiter) erstreckte sich der von der Werft gewählte Schlitzabschluß 2 (Bild 22) nur über einen Spantabstand. Trotz dieser kleinen Formänderung wurde der Widerstand erheblich verringert. Für beide Abschlüsse sind die spezifischen Restwiderstände nicht so tiefgangsabhängig wie diejenigen der Heckschlitzform. Die Kurven überschneiden sich teilweise mehrmals (Bild 21 bis 23). In jedem Fall war die Bugschlitzform bezüglich Widerstand ungünstiger als die Heckschlitzform. Eine Übersicht hierüber vermitteln die Bilder 29 und 30 für den LWL-Tiefgang. Diese Tendenz bleibt bei den untersuchten Formen auch für andere Tiefgänge erhalten, wie dies bereits Bild 26 zeigt.

Bild 30 enthält ferner den Vergleich der spezifischen Restwiderstände bei verschiedenen Schlitzanordnungen mit in Position A angebrachter Eimerleiter. Diese Stellung kann bei längeren Fahrten als üblicher Betriebsfall angesehen werden. Wegen des ungünstigen Restwiderstandes wurde der Widerstand der Eimerleiter bei Bugschlitzanordnung nicht wie für den Heck-

schlitz zur Berechnung (Bild 28) bzw. als zu erwartender Bereich (Bild 31) ausgewertet. Durchschnittlich folgt für das Verhältnis der Widerstandswerte der Eimerleiter (Pos. A) bei Bugschlitz- zu denjenigen bei Heckschlitzanordnung:

$$\frac{(R_L) \text{ Bug}}{(R_L) \text{ Heck}} \approx 1,25 \quad [—]. \quad (7)$$

Zusammengefaßt ergibt sich, daß bei herkömmlichen Schiffsformen für See-Eimerbagger eine Schlitzanordnung im Heck die Optimallösung hinsichtlich Widerstand dargestellt. Eine Möglichkeit, den Widerstand beachtlich zu verringern, bestände in der vollständigen Abdeckung des Schlitzes bis über die Schwimmwasserlinie mittels Boden- und Heckklappen oder ähnlichen Vorrichtungen. Eine derartige Abdeckung wird sich unabhängig vom Aufwand kaum betriebssicher entwickeln lassen (Eimerleiter stört usw.). Eine weitere nutzbringende Möglichkeit bestände darin, die Eimerkette nicht mehr eintauchen zu lassen (Bild 1 und 30). Entsprechende konstruktive Änderungen (Hubhöhe am Vorderbock)

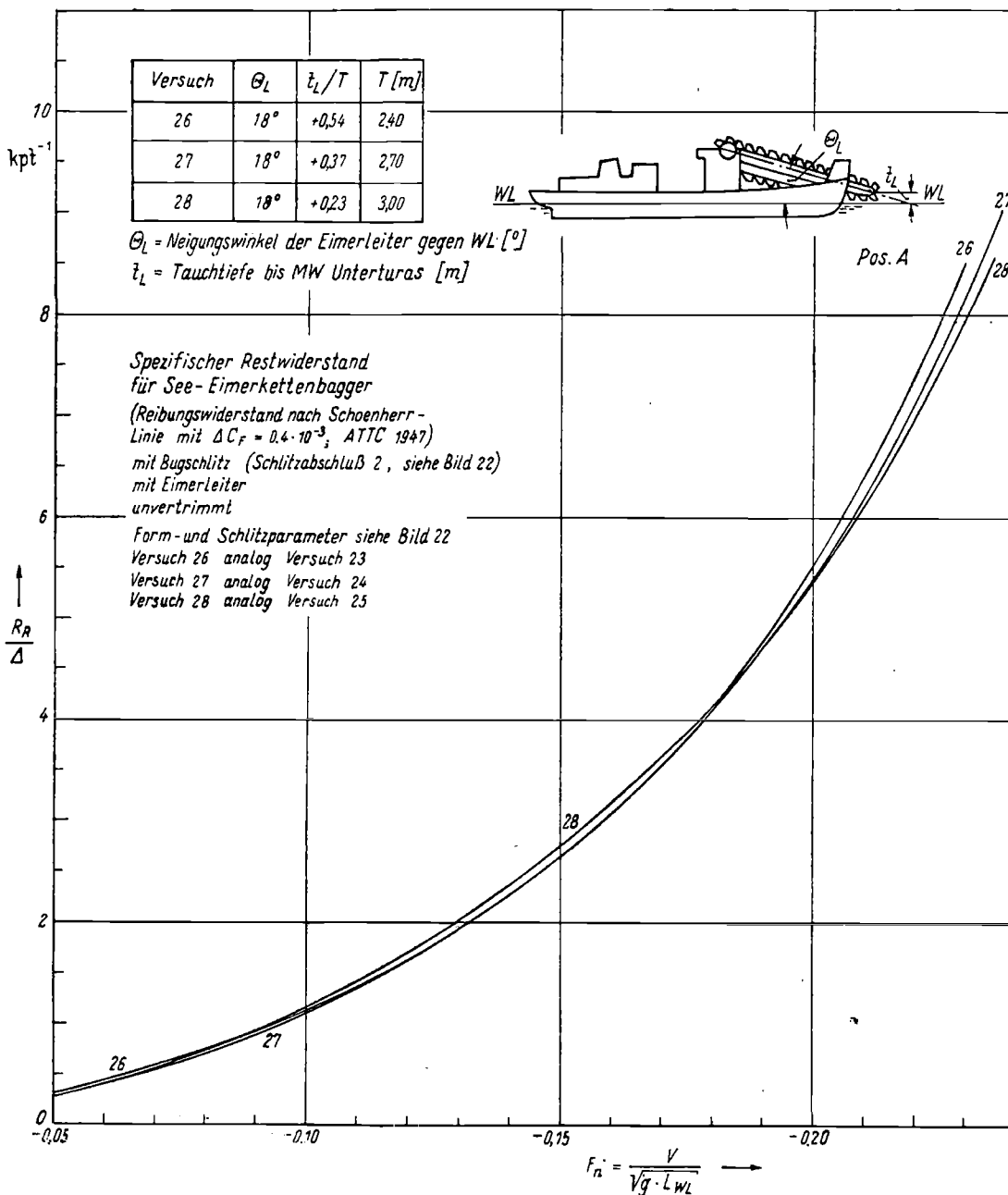


Bild 23

sind zumindest bei Neuentwürfen ohne zu großen Aufwand möglich. Außer diesen Möglichkeiten lassen sich die Widerstandsverhältnisse vermutlich nur geringfügig verbessern, eventuell durch schräg ausfallende Seitenwände der Unterwasserform (Trapezhauptspant) und durch nach hinten geneigtes Schlitzfrontschott im Heckschlitz mit möglichst langem tunnelartigem Auslauf. Dies würde jedoch eine grundsätzliche Umgestaltung der Hinterschiffsform bedingen, wobei die Propulsions- und Manövriereigenschaften gleichfalls verbessert werden müßten. Um ohne großen Aufwand eine Verbesserung der Schlitzströmung zu erzielen, wurden die Versuche 33 ··· 34b durchgeführt. Die in Bild 4 dargestellten Schlitzabschlüsse 5 und 6 lassen sich auch an der Großausführung ohne besondere Schwierigkeiten hinsichtlich Raumaufteilung und Technologie verwirklichen. Die Ergebnisse dieser Zusatzversuche sind in den Bildern 32 und 33 aufgetragen und mit den Ergebnissen für die Ausgangsform (Versuche 32 bzw. 15) verglichen worden. Für einen Gütevergleich ist  $R_T$  zu

wenden, da der Reibungswiderstand bei den Zusatzversuchen etwas vergrößert wurde (vgl.  $\frac{S}{\sqrt[3]{\Delta}}$  in Tafel 2,

$\Delta \approx$  konstant). Gegenüber der im Dienstgeschwindigkeitsbereich günstigsten Form mit scharfer Abreißkante (Versuch 2) sind die Formen für Versuch 34a und 34b bei  $F_n > 0,168$  in zunehmendem Maße widerstandsgünstiger. Bei  $F_n = 0,18$  beträgt die Reduktion von  $R_T$  bei Versuch 34b gegenüber Versuch 2 bereits 3%. Die Verbesserung des Schlitzwiderstandes bei den Zusatzversuchen geht aus den mit den Werten von Tafel 15 berechneten Tafeln 16 und 17 hervor, in denen außerdem die Zahlenwerte für die Bilder 26 und 29 enthalten sind. Die Ergebnisse der Zusatzversuche zeigen, daß unabhängig von den genannten, teilweise nur schwer realisierbaren Möglichkeiten zur Widerstandsverringerung weitere bestehen, um zumindest kleinere Verbesserungen der Schiffsform zu erreichen.

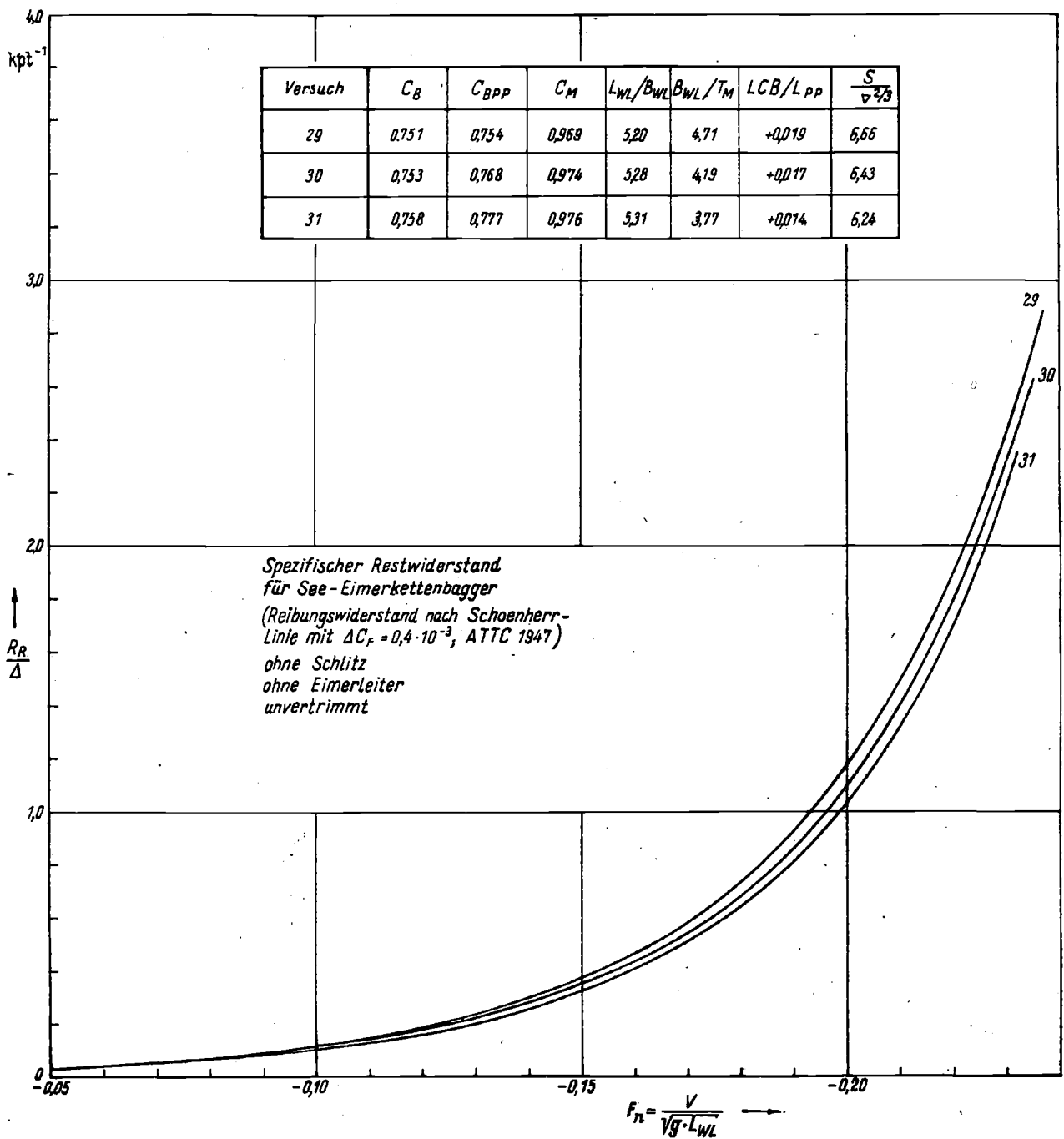


Bild 24

### 3.3.2. Zuordnung der beiden systematischen Versuchsreihen am ITS

Aus den Bildern 25 bzw. 26 ergaben sich bei den für die vorliegende Heckschlitzform geltenden Schlitzdaten:

$$\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_{\Delta_s/s} = 1,27 \quad \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_s = 1,41.$$

$$\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_{\text{Spiegelheckform}} \quad \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_{\text{Versuch 29}}$$

Bei  $F_n \approx 0,17$  (Dienstgeschwindigkeit) beträgt:

$$\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_{\text{Spiegelheckform}} = 1,17 \cdot \frac{R_T}{\Delta}_{\text{Versuch 29}}$$

für fast gleiches  $\frac{B}{T}$ .

Ferner ist  $\Delta_s = 0,933 \Delta$ , mit:

$$\Delta = 821,6 \text{ t (nach Tafel 12)}$$

und  $\Delta_s = 766,9 \text{ t}$  (interpoliert aus Tafel 12

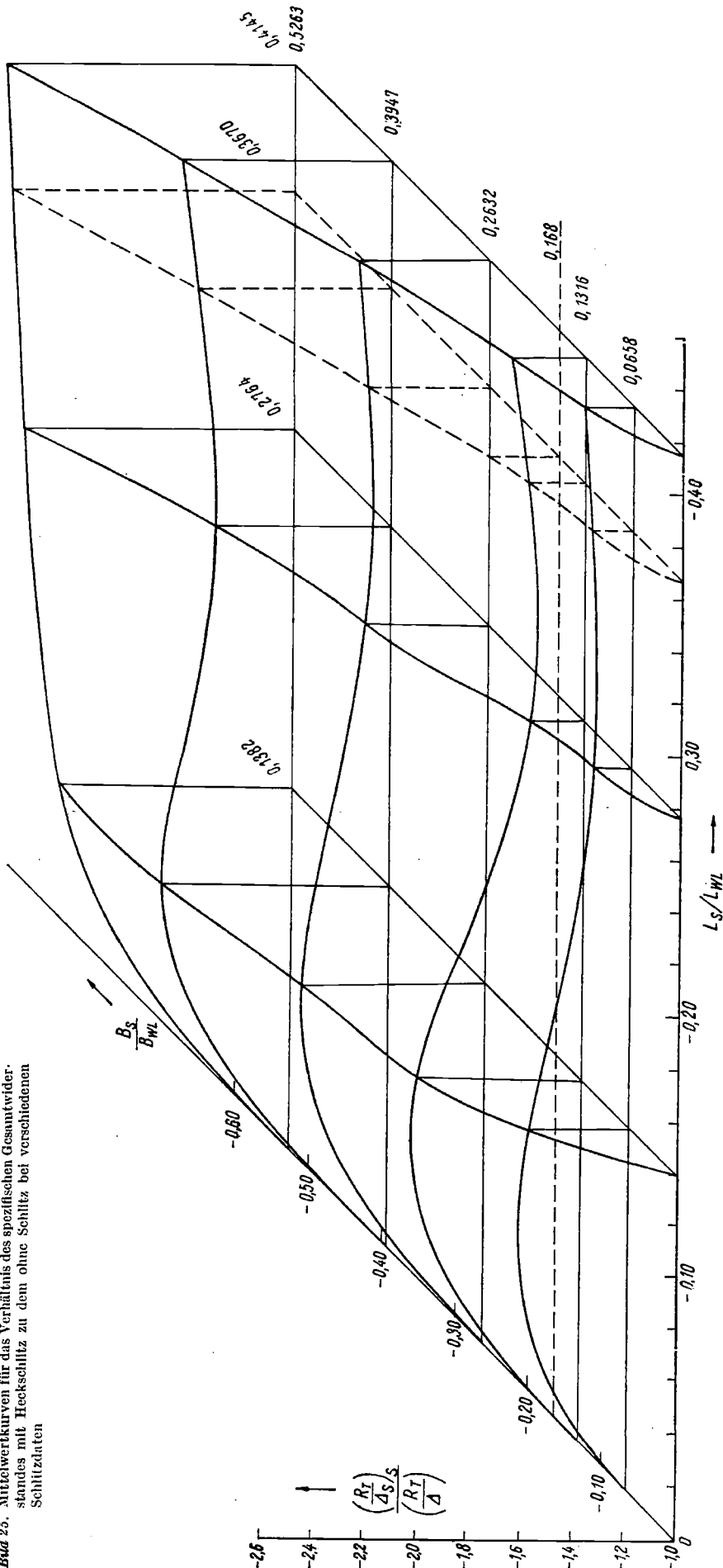
$$\text{für } \frac{L_s}{L_{WL}} = 0,367 \text{ und } \frac{B_s}{B} = 0,168.$$

Damit wird:

$$\frac{1}{0,933} \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_s = 1,27 \text{ und } \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_s = 1,27 \cdot 1,17 \cdot 0,933 = 1,387.$$

Der Unterschied zwischen den Werten 1,39 für die Spiegelheckform und 1,41 für die vorliegende Form ist praktisch zu vernachlässigen. Ein Nachweis für die Richtigkeit der geschlossenen Auswertung mit den Ergebnissen beider systematischer Serien am ITS liegt somit vor.

Bild 25. Mittelwertkurven für das Verhältnis des spezifischen Gesamtwiderstandes mit Heckschlitz zu dem ohne Schlitz bei verschiedenen Schlitzdaten



### 3.3.3. Vergleich mit Widerstandswerten nach Standardverfahren für die schlitzlose Schiffsform

Obwohl bereits ausreichende Kontrollmöglichkeiten für die grundsätzliche Richtigkeit der Versuchsergebnisse angegeben wurden, erscheint ein Vergleich der ermittelten Widerstände für die schlitzlose Form mit nach bekannten Verfahren errechneten Werten angebracht. Außerdem soll durch diesen Vergleich das am besten für die Verwendung in den Gln. (3) bis (5) geeignete Verfahren nachgewiesen werden. Dieser Nachweis ist wegen des beschränkten Gültigkeitsbereiches der Standardverfahren nur mit der beim Versuch 31 verwendeten Schiffsform möglich. Die entscheidende Schranke für die Eignung bekannter Verfahren stellen die hohen  $\frac{B}{T}$ - und relativ niedrigen  $V$ -Werte bei Baggern dar.

Für ausreichend treffsichere Ergebnisse scheidet damit die Verfahren nach Lap, Moor und weitere aus, während die von Gerlier [19] und Pawlenko [20] (beide gehen auf die Taylor-Serie zurück) sowie von Kabatschinski [21] grundsätzlich geeignet sind. Die Ergebnisse der Vergleichsrechnung wurden in Tafel 18 und in Bild 34 dargestellt. Hieraus folgt, daß im bei Dienstgeschwindigkeit möglichen Bereich  $0,15 \leq F_n \leq 0,20$  für selbstfahrende Bagger aller Typen die Verfahren von Gerlier oder Pawlenko am besten geeignet sind. Zwischen  $0,15 \leq F_n \leq 0,17$  weichen die betreffenden Kurven kaum voneinander ab. Die Ergebnisse eines Schlepversuches mit einem Saugbagger [22, Sheet 103] unterstützen bei Berücksichtigen der verwendeten Modellgröße und Turbulenzerregung gleichfalls die Brauchbarkeit der als geeignet angegebenen Verfahren.

In Bild 35 wurden die Restwiderstandsbeiwerte nach Versuch 31 und nach Gerlier für die vorliegende Schiffsform mit den auch in [22, Sheet 154 und 155] veröffentlichten Schlepversuchsergebnissen der beiden völligsten Grundformen der Serie 60 verglichen. Obwohl deren  $\frac{L}{B}$ - und  $\frac{B}{T}$ -Werte widerstandsgünstiger als für die Schiffsform bei Versuch 31 sind, können sie wegen der übrigen Parameter die mögliche Größenordnung von  $C_R$  etwa einschätzen. Zwischen  $0,155 \leq F_n \leq 0,170$  wirkt sich der Unterschied der Schiffsform nur unwesentlich aus, womit ein weiterer Beweis für die in diesem Abschnitt angegebenen Folgerungen vorliegt.

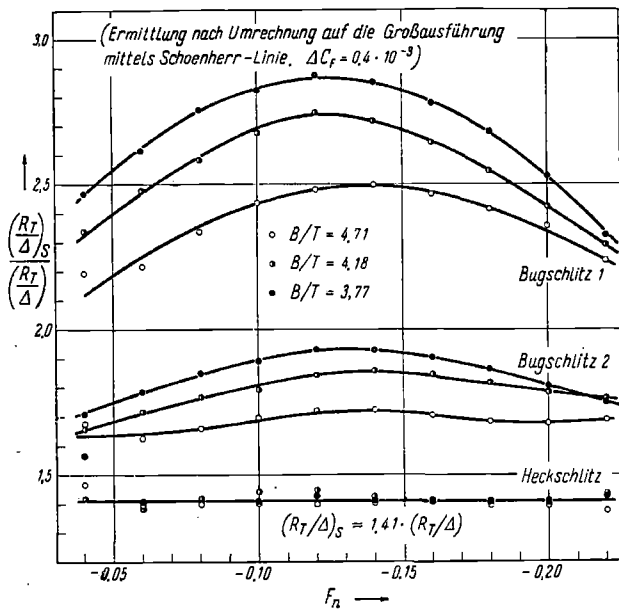


Bild 26. Mittelwertkurven für das Verhältnis des spezifischen Gesamt Widerstandes mit Schlitz zu dem ohne Schlitz bei verschiedener Schlitzanordnung

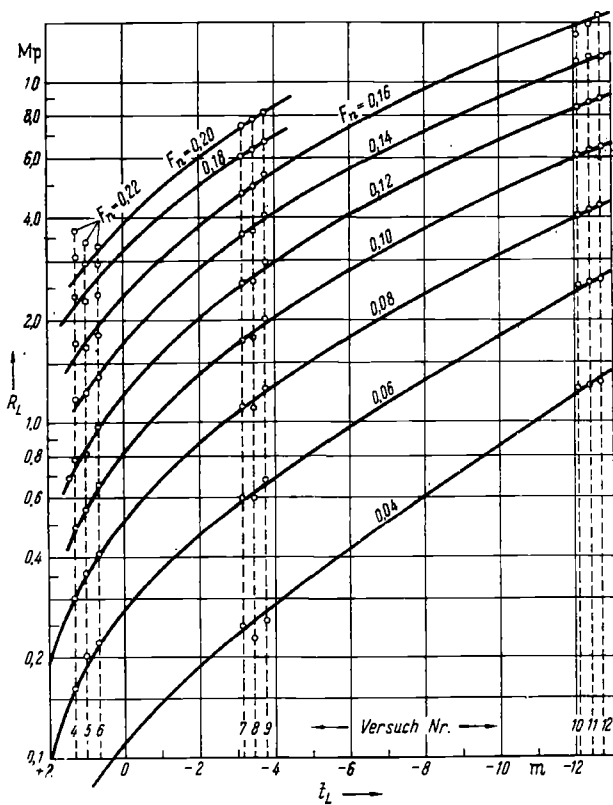


Bild 28. Mittlerer Widerstand der Eimerleiter als Funktion der Tauchtiefe bis Mitte Welle Untertur

Bild 30. Vergleich des spezifischen Restwiderstandes der wichtigsten Versuche für Konstruktionstiefgang

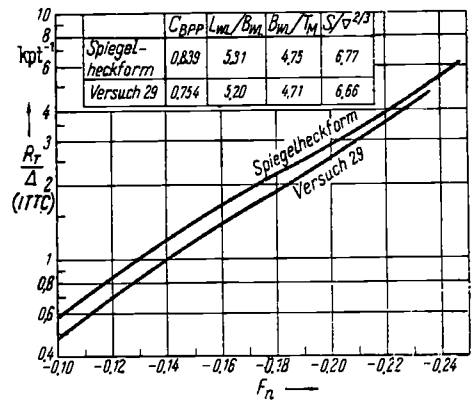


Bild 27. Spezifischer Gesamt widerstand der Schiffsförm ohne Schlitz

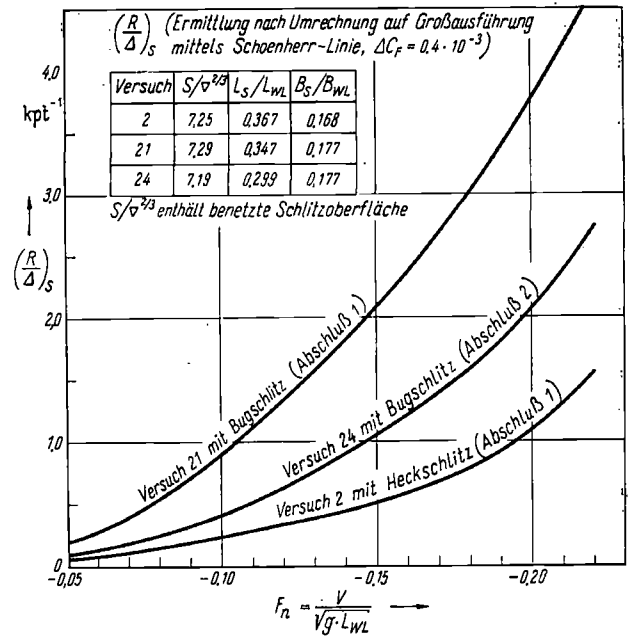
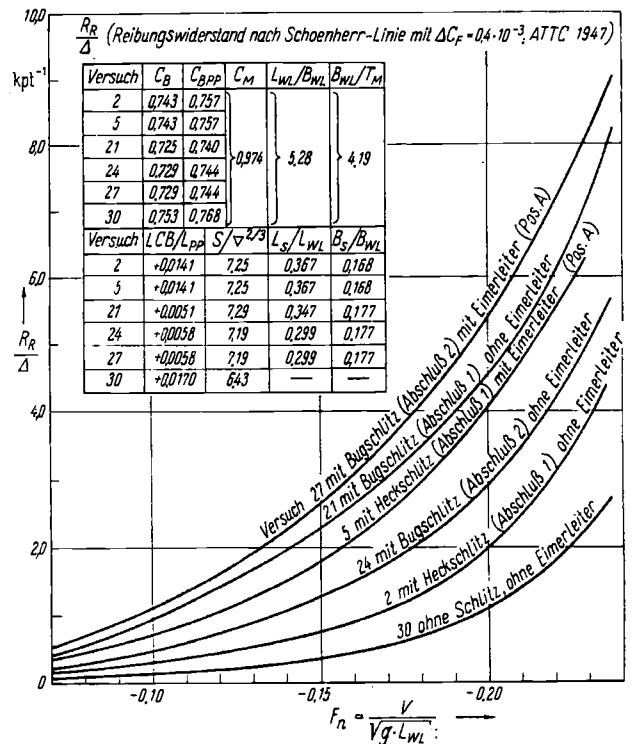


Bild 29. Vergleich des spezifischen Schlitzwiderstandes bei verschiedener Schlitzanordnung für Konstruktionstiefgang



Tafel 10, Abzug vom spezifischen Restwiderstand (Tafel 8, nach ATTC 1947 umgerechnet) für Umrechnung nach der ITTC-1957-Korrelationslinie

F <sub>n</sub> [—]	$\frac{R_R}{\Delta}$ [kpt <sup>-1</sup> ]	
	mit	ohne
0,04	0,01	0,01
0,06	0,02	0,02
0,08	0,03	0,03
0,10	0,04	0,04
0,12	0,06	0,05
0,14	0,07	0,06
0,16	0,08	0,07
0,18	0,10	0,08
0,20	0,11	0,10
0,22	0,13	0,11
0,24	0,15	0,13

Tafel 12, Displacement der Spiegelheckform bei Variation der Schlitzzdaten

△ ohne Schlitz = 821,6 t

$\frac{B_S}{B}$ [—]	$\frac{L_S}{L} = 0,1382$	= 0,2764	= 0,4145
0,0658	813,5	805,5	797,4
0,1316	805,5	789,3	773,2
0,2032	789,3	757,1	724,9
0,3047	773,2	724,9	676,6
0,5263	757,1	692,7	628,6

Tafel 15, Spezifischer Gesamtwiderstand (ATTC 1947) bei verschiedenen Schlitzanordnungen und -formen

F <sub>n</sub> [—]	Versuch 1	2	3	15	33	34a	34b	20
0,04	0,14	0,14	0,14	0,14				0,21
0,06	0,30	0,28	0,27	0,29				0,47
0,08	0,51	0,49	0,45	0,51				0,85
0,10	0,79	0,77	0,70	0,79				1,37
0,12	1,14	1,11	1,02	1,16				2,03
0,14	1,60	1,52	1,40	1,59	1,58	1,55	1,55	2,85
0,16	2,18	2,04	1,91	2,13	2,10	2,05	2,05	3,84
0,18	2,93	2,78	2,57	2,81	2,74	2,66	2,64	5,07
0,20	3,93	3,78	3,49	3,73	3,60	3,46	3,41	6,66
0,22	5,34	5,15	4,92	5,09	4,84	4,63	4,51	8,68
F <sub>n</sub> [—]	21	22	23	24	25	29	30	31
0,04	0,22	0,22	0,16	0,16	0,15	0,10	0,10	0,09
0,06	0,50	0,50	0,34	0,35	0,34	0,21	0,20	0,19
0,08	0,89	0,89	0,60	0,61	0,60	0,36	0,34	0,32
0,10	1,43	1,40	0,95	0,95	0,94	0,56	0,53	0,50
0,12	2,11	2,05	1,41	1,42	1,38	0,82	0,77	0,71
0,14	2,90	2,84	1,96	1,98	1,92	1,14	1,07	1,00
0,16	3,83	3,78	2,65	2,67	2,58	1,56	1,45	1,36
0,18	4,96	4,90	3,53	3,55	3,41	2,10	1,95	1,83
0,20	6,39	6,27	4,74	4,71	4,48	2,83	2,64	2,49
0,22	8,22	7,98	6,55	6,31	6,01	3,89	3,59	3,44

Tafel 14, Zusatzwiderstand infolge Elmerleiter bei Heckschlitzanordnung

F <sub>n</sub> [—]	Versuch 4	5	6	Versuch 7	8	9	Versuch 10	11	12	Versuch 18	19
0,04	0,07	0,08	0,08	0,25	0,23	0,26	1,26	1,27	1,30	0,12	0,08
0,06	0,16	0,20	0,22	0,59	0,60	0,67	2,52	2,58	2,65	0,28	0,17
0,08	0,30	0,36	0,41	1,10	1,10	1,24	4,13	4,27	4,38	0,51	0,31
0,10	0,49	0,55	0,66	1,75	1,77	2,01	6,13	6,31	6,47	0,79	0,49
0,12	0,78	0,82	0,98	2,58	2,62	2,97	8,56	8,79	8,97	1,14	0,74
0,14	1,16	1,21	1,36	3,58	3,70	4,12	11,42	11,77	11,95	1,55	1,07
0,16	1,70	1,69	1,82	4,77	4,99	5,44	14,66	15,11		2,05	1,58
0,18	2,35	2,32	2,38	6,12	6,40	6,88				2,64	2,22
0,20	3,05	2,93	2,96	7,54	7,92	8,32				3,27	2,88
0,22	3,68	3,41	3,36							3,93	3,50

Tafel 11, Bildung der Mittelwerte für das Verhältnis spezifischer Gesamtwiderstand mit Schlitz zum spezifischen Gesamtwiderstand ohne Schlitz

$$\left(\frac{R_T}{\Delta_S}\right); \left(\frac{R_T}{\Delta}\right) = f\left(\frac{L_S}{L_{WL}}, \frac{B_S}{B_{WL}}\right)$$

F <sub>n</sub> [—]	$\frac{L_S}{L_{WL}} = 0,1382$				
	$\frac{B_S}{B} = 0,0658$	= 0,1316	= 0,2632	= 0,3947	= 0,5263
0,0947				1,88	
0,1156	1,55			1,91	
0,1387	1,43	1,78	1,81	1,89	2,00
0,1618	1,36	1,70	1,76	1,89	1,94
0,1849	1,33	1,64	1,71	1,88	1,88
0,2081	1,33	1,58	1,64	1,86	1,85
0,2312	1,29	1,45	1,56	1,79	1,80
Mittel	1,38	1,63	1,70	1,87	1,89

F <sub>n</sub> [—]	$\frac{L_S}{L_{WL}} = 0,2764$				
	$\frac{B_S}{B} = 0,0658$	= 0,1316	= 0,2632	= 0,3947	= 0,5263
0,0947					2,17
0,1156	1,25	1,27	1,60	1,78	2,08
0,1387	1,14	1,19	1,46	1,64	1,96
0,1618	1,09	1,15	1,42	1,59	1,95
0,1849	1,09	1,16	1,41	1,62	2,00
0,2081	1,12	1,19	1,45	1,69	2,06
0,2312	1,15	1,22	1,46	1,70	2,05
Mittel	1,14	1,20	1,47	1,67	2,04

F <sub>n</sub> [—]	$\frac{L_S}{L_{WL}} = 0,4145$				
	$\frac{B_S}{B} = 0,0658$	= 0,1316	= 0,2632	= 0,3947	= 0,5263
0,0947	1,19	1,28	1,53	1,83	2,16
0,1156	1,19	1,29	1,51	1,81	2,13
0,1387	1,16	1,26	1,46	1,75	2,06
0,1618	1,16	1,25	1,44	1,74	2,05
0,1849	1,17	1,25	1,44	1,78	2,08
0,2081	1,23	1,30	1,51	1,86	2,17
0,2312	1,25	1,33	1,60	1,84	2,13
Mittel	1,19	1,28	1,50	1,80	2,11

Tafel 13, Spezifischer Gesamtwiderstand der Schiffsförmungen ohne Schlitz

$$\frac{R_T}{\Delta} \text{ [kpt}^{-1}\text{] für Formen ohne Schlitz}$$

F <sub>n</sub> [—]	mit R <sub>T</sub> nach ATTC 1947; ΔC <sub>F</sub> = 0,4 · 10 <sup>-3</sup>			mit R <sub>T</sub> nach ITTC 1957; ΔC <sub>F</sub> = 0,2 · 10 <sup>-3</sup>				
	Spiegelheckform	29	30	31	Spiegelheckform	29	30	31
0,10	0,67	0,55	0,53	0,49	0,58	0,48	0,46	0,43
0,12	0,96	0,80	0,76	0,71	0,85	0,70	0,67	0,62
0,14	1,34	1,12	1,06	0,99	1,19	0,99	0,93	0,87
0,16	1,83	1,53	1,44	1,35	1,63	1,36	1,28	1,20
0,18	2,42	2,06	1,93	1,81	2,18	1,85	1,74	1,63
0,20	3,17	2,78	2,62	2,46	2,89	2,55	2,38	2,25
0,22	4,14	3,81	3,61	3,41	3,84	3,52	3,34	3,15
0,24	5,78	—	—	—	5,41	—	—	—

Tafel 16. Spezifischer Schlitzwiderstand

$$\left(\frac{R}{\Delta}\right)_S [kpt^{-1}] = \left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_S - \frac{R_T}{\Delta}$$

$F_n$ [—]	Versuch 2	15	33	34a	34b	21	24
0,04	0,04	0,04				0,13	0,06
0,06	0,08	0,09				0,30	0,15
0,08	0,14	0,17				0,54	0,26
0,10	0,23	0,26				0,89	0,42
0,12	0,34	0,39				1,34	0,65
0,14	0,45	0,52	0,51	0,48	0,48	1,83	0,91
0,16	0,59	0,68	0,65	0,60	0,60	2,38	1,22
0,18	0,78	0,86	0,79	0,71	0,69	3,01	1,60
0,20	1,09	1,09	0,96	0,82	0,77	3,75	2,07
0,22	1,56	1,50	1,25	1,04	0,92	4,63	2,72

Tafel 17. Verhältnis des spezifischen Gesamtwiderstandes mit Schlitz zu dem ohne Schlitz

$$\left(\frac{R_T}{\Delta}\right)_S : \frac{R_T}{\Delta} [—]$$

Heckschlitz						
$F_n$ [—]	Versuch 1	2	3	33	34a	34b
0,04	1,46	1,42	1,57			
0,06	1,39	1,38	1,41			
0,08	1,40	1,42	1,41			
0,10	1,40	1,44	1,40			
0,12	1,39	1,44	1,43			
0,14	1,40	1,42	1,41	1,477	1,451	1,451
0,16	1,40	1,41	1,41	1,448	1,417	1,417
0,18	1,39	1,40	1,41	1,411	1,366	1,356
0,20	1,39	1,41	1,40	1,364	1,307	1,291
0,22	1,37	1,44	1,43	1,348	1,290	1,258

Bugschlitz 1			Bugschlitz 2			
$F_n$ [—]	Versuch 20	21	22	23	24	25
0,04	2,19	2,34	2,47	1,67	1,66	1,71
0,06	2,21	2,48	2,61	1,62	1,72	1,78
0,08	2,33	2,58	2,75	1,66	1,77	1,85
0,10	2,44	2,68	2,82	1,69	1,79	1,89
0,12	2,48	2,74	2,87	1,72	1,84	1,93
0,14	2,49	2,72	2,85	1,72	1,85	1,92
0,16	2,46	2,64	2,77	1,70	1,84	1,90
0,18	2,41	2,55	2,68	1,68	1,82	1,86
0,20	2,36	2,42	2,52	1,68	1,78	1,80
0,22	2,23	2,29	2,32	1,69	1,76	1,75

Tafel 20. Verhältniszwecke  $\frac{\text{Spantfläche}}{\text{Hauptspantfläche}}$  und Wasserlinieneintrittswinkel der schlitzlosen Schiffsform

Versuch	29	30	31
$\frac{B}{T}$ [—]	4,71	4,19	3,77
Spt.	$\frac{A_F}{A_M}$ [—]		
20	≈ 0	0	≈ 0
19	0,296	0,309	0,327
18	0,612	0,624	0,639
17	0,825	0,829	0,836
16	0,940	0,943	0,948
14	0,989	0,990	0,990
12	0,996	0,997	0,997
10	1,000	1,000	1,000
8	0,996	0,996	1,000
6	0,980	0,980	0,985
4	0,783	0,801	0,821
3	0,612	0,638	0,669
2	0,399	0,436	0,479
1	0,171	0,211	0,252
0	0,004	0,017	0,039
$i_E$	45,3°	47,6°	49,8°

Tafel 18. Vergleich des Restwiderstandes nach Messung (Versuch 31) und Berechnung

Tafel 18.1 Rechnung nach Gertler (Taylorserie)

$F_n$ [—]	$C_R$ [—]	Rechnung $R_R$ [kp]	Messung $R_R$ [kp]	$\frac{\text{Messung } R_R}{\text{Rechnung } R_R}$ [—]
0,04	0,968	40	30	0,750
0,06	0,968	89	64	0,720
0,08	0,968	158	102	0,645
0,10	0,968	247	164	0,665
0,12	0,968	356	250	0,702
0,14	0,968	484	400	0,826
0,16	0,980	640	633	0,989
0,18	1,056	873	990	1,145
0,20	1,316	1343	1613	1,202
0,22	1,815	2240	2655	1,186
0,24	2,641	3881	—	—

18.2 Rechnung nach Paulenko (Taylorserie)

$F_n$ [—]	$\frac{R_R}{\Delta} [kpt^{-1}]$	$R_R$ [kp]
0,179	0,540	854
0,194	0,785	1241
0,208	0,985	1557
0,223	1,475	2392
0,238	2,245	3549

18.3 Rechnung nach Kabatschinski

$F_n$ [—]	0,135	0,150	0,165	0,180	0,195	0,210	0,225	0,240
$R_R$ [kp]	547	751	1025	1375	1832	2448	3370	4871

Tafel 19. Formfaktoren und Wellenwiderstandsbelwerte der schlitzlosen Schiffsform

Versuch 29					
$F_n$ [—]	$R_n [10^3]$	$C_T$ [—]	$C_{F ATTC}$ [—]	$r_{ATTC} [—]^{1)}$	$C_W$ [—]
0,0354	5,34	5,56	4,99	1,12	0
0,04	6,03	5,45	4,87	1,12	0
0,06	9,05	5,07	4,50	1,13	0
0,08	12,10	4,81	4,25	1,13	0
0,10	15,11	4,67	4,08	1,14	0
0,12	18,13	4,62	3,94	1,17	0
0,14	21,15	4,63	3,83	1,20	0
0,16	24,16	4,71	3,74	1,26	0,22
0,18	27,18	4,87	3,66	1,33	0,48
0,20	30,20	5,16	3,60	1,43	0,83
0,22	33,21	5,63	3,54	1,59	1,38
0,2369	35,78	6,23	3,49	1,78	2,03

Versuch 30					
$F_n$ [—]	$R_n [10^3]$	$C_T$ [—]	$C_{F ATTC}$ [—]	$r_{ATTC} [—]^{1)}$	$C_W$ [—]
0,0351	5,44	5,69	4,97	1,15	0
0,04	6,20	5,50	4,84	1,15	0
0,06	9,30	5,14	4,47	1,15	0
0,08	12,40	4,86	4,23	1,15	0
0,10	15,50	4,70	4,06	1,16	0
0,12	18,60	4,64	3,92	1,19	0
0,14	21,71	4,64	3,82	1,22	0,08
0,16	24,81	4,70	3,72	1,26	0,22
0,18	27,91	4,86	3,65	1,33	0,47
0,20	31,01	5,16	3,58	1,44	0,86
0,22	34,11	5,66	3,52	1,61	1,44
0,2350	36,45	6,20	3,48	1,78	2,02

Versuch 31					
$F_n$ [—]	$R_n [10^3]$	$C_T$ [—]	$C_{F ATTC}$ [—]	$r_{ATTC} [—]^{1)}$	$C_W$ [—]
0,0350	5,46	5,71	4,97	1,15	0
0,04	6,25	5,58	4,84	1,15	0
0,06	9,36	5,16	4,47	1,15	0
0,08	12,48	4,86	4,23	1,15	0
0,10	15,62	4,69	4,05	1,16	0
0,12	18,73	4,60	3,92	1,17	0
0,14	21,84	4,61	3,81	1,21	0,04
0,16	24,98	4,69	3,72	1,26	0,22
0,18	28,09	4,85	3,64	1,33	0,47
0,20	31,23	5,16	3,58	1,44	0,86
0,22	34,34	5,67	3,52	1,61	1,44
0,2320	36,31	6,12	3,48	1,76	1,95

1) für  $F_n > 0,14$  lies  $\frac{C_T}{C_F}$  [—]



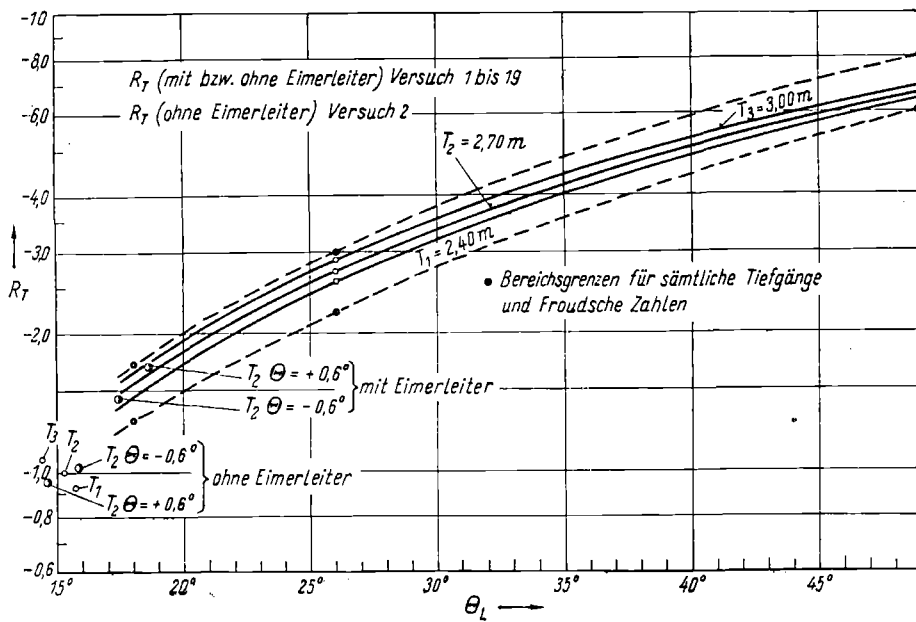


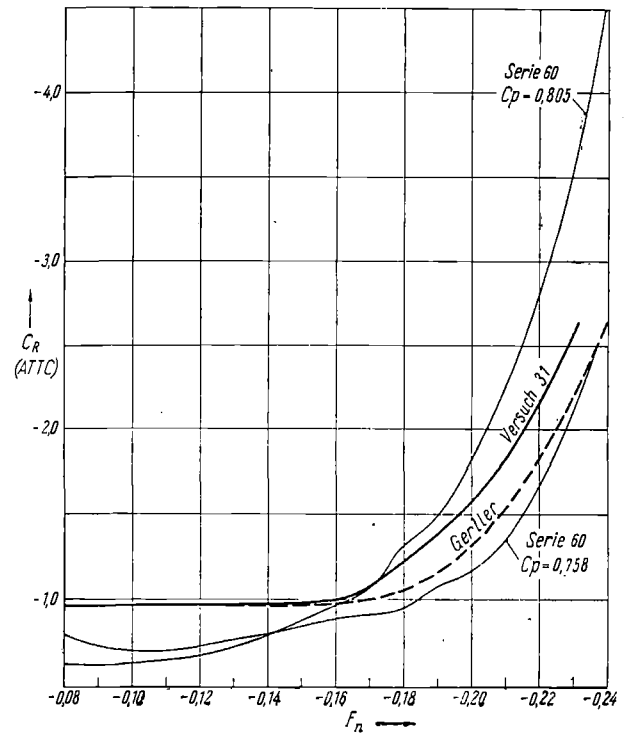
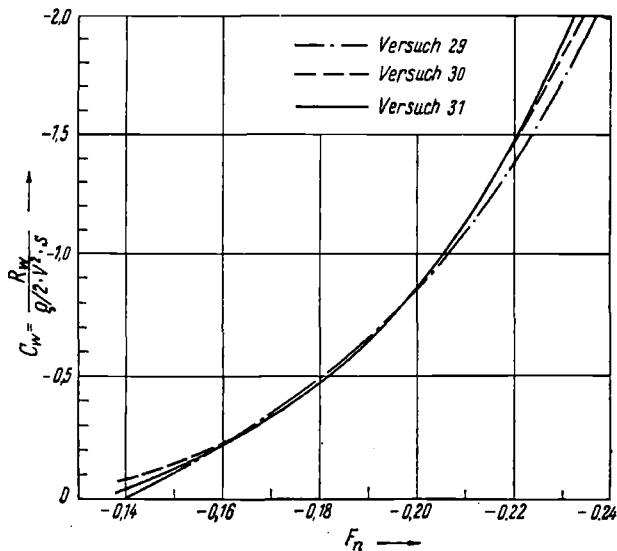
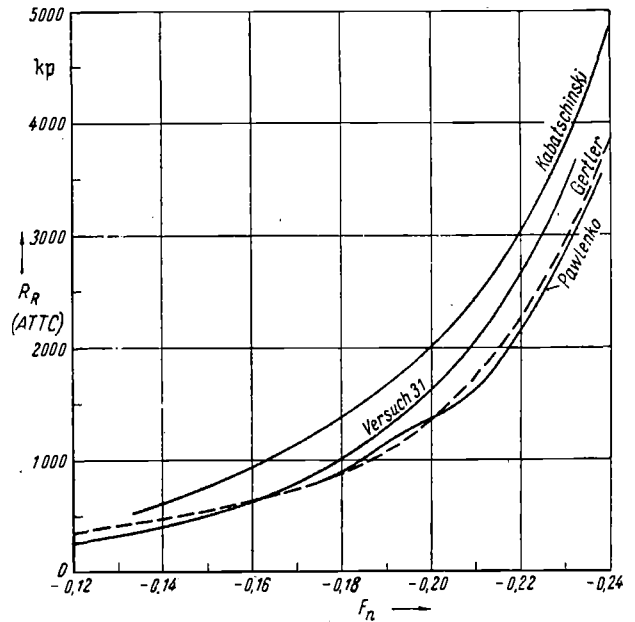
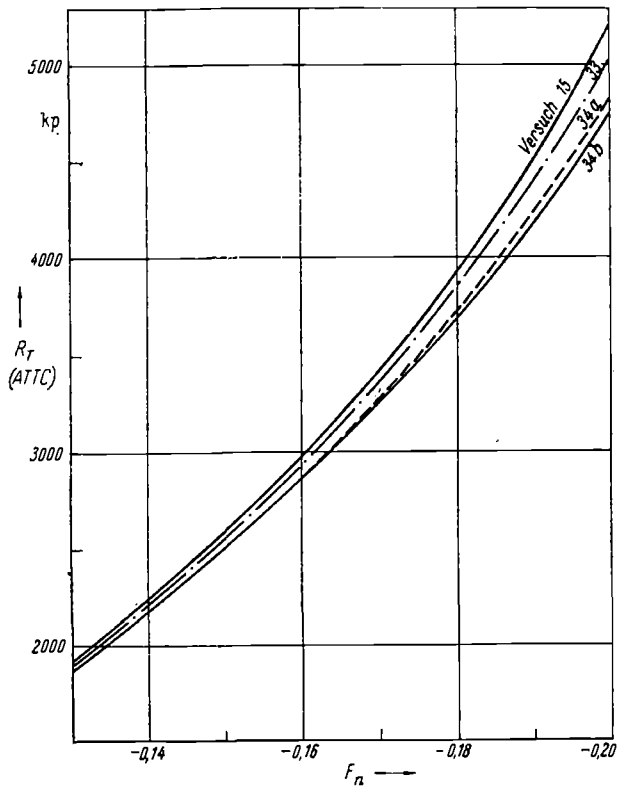
Bild 31 (links oben)  
 Bereich für den mittleren Widerstandszuwachs durch die Eimerleiter als Funktion der Eimerleiterneigung

Bild 33 (links Mitte)  
 Vergleich des Gesamtwiderstandes für die Zusatzversuche mit dem der Ausgangsform

Bild 34 (rechts Mitte)  
 Vergleich des Restwiderstandes nach Messung (Versuch 31) und Berechnung

Bild 35 (rechts unten)  
 Vergleich von Restwiderstandsbeiwerten

Bild 36 (links unten)  
 Wellenwiderstandsbeiwerte der schlitzlosen Form



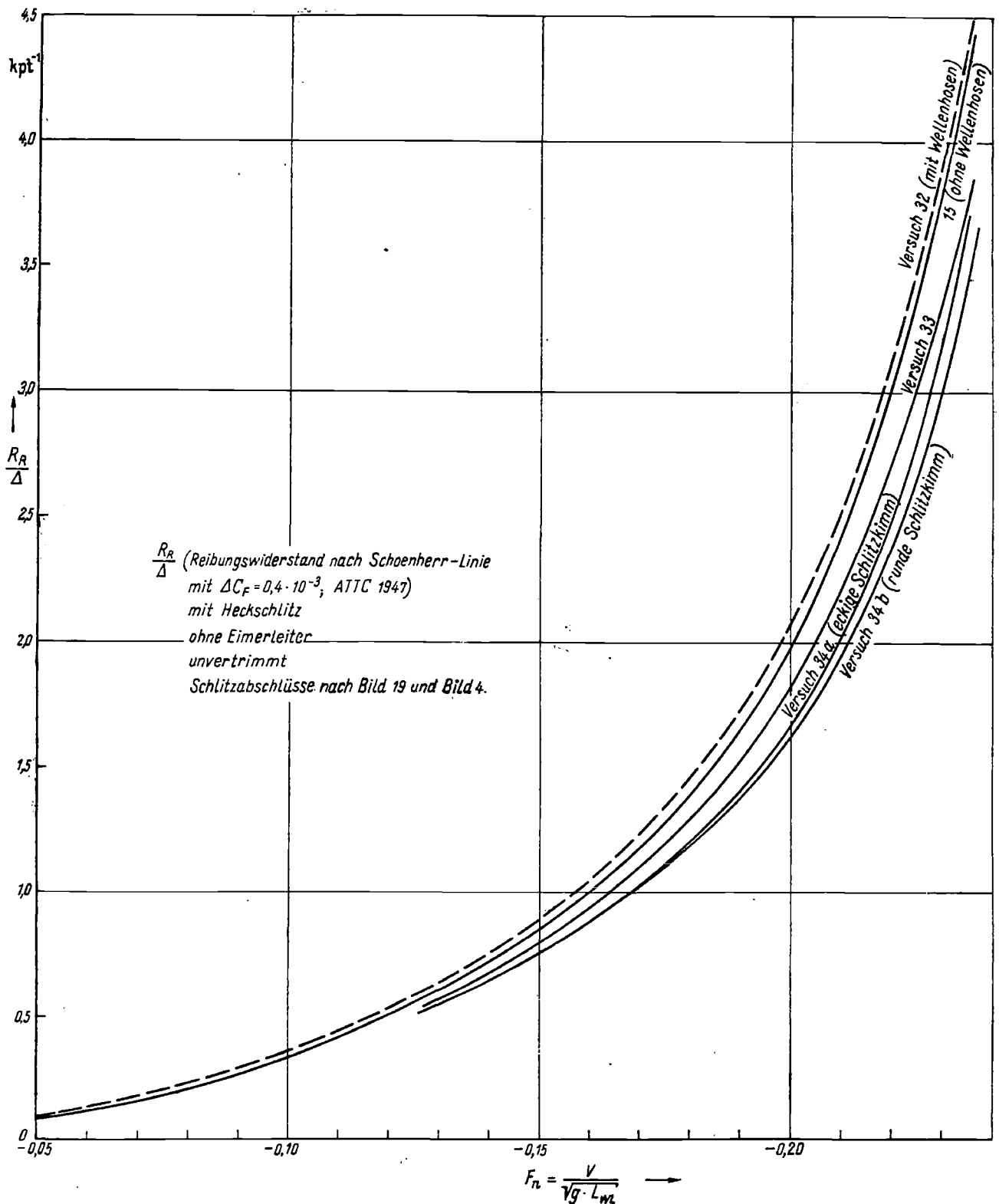


Bild 32. Vergleich des spezifischen Restwiderstandes für die Zusatzversuche mit dem der Ausgangsform

### 3.3.4. Formfaktoren und Wellenwiderstandsbeiwerte

Im Abschnitt 2.2. wurde bereits ausgeführt, weshalb die Versuchsergebnisse nicht unter Einbeziehen von Formfaktoren auf die Großausführung umgerechnet wurden. Unabhängig von der Umrechnung auf das Schiff sind die Versuche 29 · · · 31 (schlitzlose Form) hinsichtlich Formfaktoren ausgewertet worden. Hier werden nur Vergleiche und Ergebnisse mitgeteilt. Selbst eine Kurzübersicht über die verschiedenen Auffassungen

betreffs Formfaktor ist im Rahmen dieser Arbeit unangebracht. Da keine Geosimreihe für die Baggerschiffaform vorliegt, können auch keine Steigungen bei gleichen  $F_n$  ermittelt und ausgewertet werden. Außerdem treten bei dieser Methode bei näherer Betrachtung fast die gleichen Schwierigkeiten wie beim Auswerten von Einzelversuchen infolge Meßungenauigkeit und Laminareinfluß auf.

Wird der Formfaktor nach Artjuschkow und Woit-

*kunski* [23] ermittelt, so ergeben sich mit dem vorhandenen parallelen Mittelschiff und  $\frac{B}{T}$  sehr hohe Werte, z. B. für Versuch 31  $r = 1,41$  (bezogen auf die Schoenherr-Linie). Dieser Wert ist so hoch, weil die Autoren der Arbeit [23] die Unterlagen über die Taylor-Serie von *Gerlier* [19] bei ihrem Verfahren mitbenutzten. Die Schaubilder in [19] brechen bei  $F_n \approx 0,15$  unter Ansatz eines bis auf wenige Ausnahmen konstanten  $C_R$  für  $F_n < 0,15$  ab. Wird Bild 35 daraufhin eingeschätzt, so ist trotz eines leichten Laminareinflusses am Baggermodell eine derartige Tendenz unwahrscheinlich. Daran ändert auch der fast gleiche Verlauf von  $C_R$  für das völlige Modell der Serie 60 nichts. Bei derart völligen Formen ist es falsch, den Wellenwiderstandsbeiwert  $C_W$  für  $F_n = 0,15$  mit 0 anzunehmen. Selbst bei  $F_n = 0,14$  (s. Bild 37.1 im Abschnitt 3.3.5) sind noch ein relativ hoher Bugstau und ein ausgeprägtes Wellensystem vorhanden. Außerdem scheinen die Autoren von [23] den Einfluß des  $\frac{B}{T}$ -Verhältnisses und des parallelen Mittelschiffes auf den Formfaktor zu überschätzen.

Wie *Weinblum* u. a. [24] kürzlich durch Modellversuche mit schiffsähnlichen Formen nachgewiesen, deren Spantarealkurven analytisch definiert sind, besitzt  $\frac{B}{T}$  im untersuchten Bereich der Modelle  $0,52 \leq C_p \leq 0,72$  und  $2,0 \leq \frac{B}{T} \leq 3,3$  keinen merkbaren Einfluß auf den Formfaktor. Dieses Ergebnis stellt sich auch beim zusätzlichen Auswerten der bei zwei Modellmaßstäben mit  $L_{WL} = 4,61$  m und 6,15 m untersuchten Tankergeosim [25] ein. Allerdings wird hier nur der kleine Bereich  $2,25 \leq \frac{B}{T} \leq 2,46$  erfaßt. Im vorliegenden  $\frac{B}{T}$ -Bereich, der hinsichtlich Ablösewiderstand gefährdeter als das eben angeführte Beispiel eingestuft werden muß, wurde gleichfalls keine Abhängigkeit des Formfaktors von diesem Verhältniswert festgestellt, wie aus Tafel 19 ersichtlich ist. Die Formfaktoren in dieser Tafel wurden ausschließlich wegen des Vergleiches mit den Literaturstellen [23] bis [25] auf die Schoenherr-Linie bezogen. Um den leichten Laminareinfluß beim endgültigen Ermitteln der Formfaktoren auszuschalten, wurde  $F_n$  min für sichere Turbulenz nach den Angaben von *Acevedo* (*Fage*) [26] und *Koslow* [27] bestimmt.

Bei einem Drahtdurchmesser von 1 mm ergibt sich:

$$\begin{aligned} \text{nach } \textit{Acevedo} \quad F_n \text{ min} &= 0,13 \\ \text{nach } \textit{Koslow} \quad F_n \text{ min} &= 0,15. \end{aligned}$$

Wegen dieser  $F_n$  min-Werte, des Wertes  $C_W \approx 0$  bei  $F_n \approx 0,13$  und des Minimums von  $C_T$  bei  $F_n \approx 0,12$  kann der Formfaktor ausreichend genau bei  $F_n = 0,14$  und  $R_n \approx 2,15 \cdot 10^6$  zu  $r_{ATTC} = 1,20$  angesetzt werden.

Bezogen auf die Hughes-Linie würde sich  $r_H = \frac{C_{FATTC}}{C_{FH}}$   $r_{ATTC} = 1,29$  ergeben. Dieser Wert wurde mit mehreren etwa ähnlichen Schiffsformen ohne Anhänge aus [22] verglichen und die richtige Größenordnung nachgewiesen. Auch ein Vergleich mit dem für einen Tanker ( $C_p \approx 0,78$ ) von *Prohaska* [28] angegebenen Formfaktor  $r_H = 1,31$  stellt zufrieden. Nach *Weinblum* [24] würde sich beim vorhandenen  $C_p = 0,776$  extrapoliert zwar ein wesentlich größerer Formfaktor ergeben. jedoch wird in [24] selbst festgestellt, daß sich ab  $F_n < 0,26$  höhere Restwiderstandsbeiwerte als für die von Lap untersuchten normalen Seeschiffsformen ergaben.

Mit dem durch Wellenbilder nahezu gesicherten Nullpunkt für  $C_W$  und mit dem ermittelten Formfaktor wurden gleichfalls auf die Schoenherr-Linie zurückgehend

die jeweiligen Wellenwiderstandsbeiwerte berechnet. Sie dürfen selbstverständlich nur qualitativ gedeutet werden, da durch Ermitteln des Formfaktors bei einem einzigen  $R_n$  die Richtigkeit der Schoenherr-mean-line oder der Hughes-Basislinie als zweidimensionaler Extrapolator ebensowenig wie durch eine unzureichende Geosimreihe bewiesen werden kann. Wie jedoch aus Tafel 19 und Bild 36 eindeutig hervorgeht, bleibt auch  $C_W$  unabhängig vom Tiefgang bei den vorliegenden Schiffsformen und üblichen  $F_n$ -Werten etwa konstant. Auch diese Aussage wird durch Analyse der dazugehörigen Wellenbilder bestätigt. Die Ursache für den nahezu konstanten Wellenwiderstandsbeiwert bei gleichem  $F_n$  sind der nur unwesentlich mit dem  $\frac{B}{T}$  geänderte Verlauf der auf das Hauptspant bezogenen Spantflächen und der ebenfalls kaum beeinflusste Wasserlinieneintrittswinkel (Tafel 20).

### 3.3.5. Wellenbilder

Von den Wellenbildern wird nur eine Auswahl wiedergegeben. Die Wellenkontur am Modell auf LWL-Tiefgang ist für vier Grundformen bei je drei Geschwindigkeitsstufen aus den Bildern 37 bis 40 ersichtlich. Durch den großen Wasserlinieneintrittswinkel und das große  $\frac{B}{T}$  bedingt, bildet sich ein relativ hoher Bugstau und ein bei höheren Geschwindigkeiten erheblich tieferes Bugwellental als das Heckwellental aus. Bis  $F_n \approx 0,170$  ist weder Vertrimmen noch Absenken des Modells bei Fahrt zu beobachten, bei  $F_n \approx 0,195$  ist ein geringer Trimm und bei  $F_n \approx 0,230$  sind stärkerer Trimm und auch Absenkung vorhanden. An der Form mit Heckschlitz und ohne Schlitz ist die Wellenkontur bei Dienstgeschwindigkeit, abgesehen vom höheren Bugstau, gleichmäßig über die Modelllänge verteilt. Im Propellerbereich befindet sich bei Dienstgeschwindigkeit (für die Propulsion günstig) ein Wellenberg. Ein Wellental im Mittelschiffsbereich beginnt sich kurz über der Dienstgeschwindigkeit auszubilden. Die Wellenkonturen sind für alle drei Untersuchungstiefgänge bei unvertrimmter Ausgangsschwimmlage und korrespondierender Geschwindigkeit nahezu gleich.

An beiden Bugschlitzformen verschiebt sich das Bugwellental in den Bereich von Spt 16 bis 18,5 gegenüber dem Bereich von Spt 14,5 bis 17,5 bei den erstgenannten Formen. Im Mittel- und Hinterschiffsbereich ist der Einfluß des Bugschlitzes auf das Wellenbild bereits abgeklungen, so daß keine Unterschiede gegenüber der Form ohne Schlitz auftreten. Beim Vergleich der Wellenkonturen der Heckschlitzform mit denen der Bugschlitzformen und der schlitzlosen Form zeigt sich — gleichfalls durch die Lage des Schlitzes bedingt — eine Verschiebung des Heckwellentals in den Bereich zwischen den Spanten 5 und 1,5 mit gleichzeitiger Verlängerung gegenüber dem Bereich zwischen den Spanten 4 und 6 bei den letztgenannten Formen. Beide angegebenen Vergleiche gelten für Dienstgeschwindigkeit und LWL-Tiefgang.

Vom Schlitzwellensystem hat *Braun* [7] bereits verschiedene Aufnahmen mit erläuterndem Text veröffentlicht. Da die Schlitzwellen periodisch oder aperiodisch, in jedem Fall jedoch instationär entstehen, wurde zur weiteren Klärung ein 16-mm-Schmalfilm in Zeitlupe (Aufnahmefrequenz 96 Bilder  $s^{-1}$ ) bei 8  $F_n$ -Werten gedreht. Die Störungen im Schlitz entstehen durch erzwungene Ablösung der vor dem Schlitz anliegenden Bodengrenzschicht des Modells und durch zusätzliche sekundäre Einflüsse. Bei zunehmendem  $F_n$  wird immer unregelmäßiger Flüssigkeit in das Totwassergebiet hinter

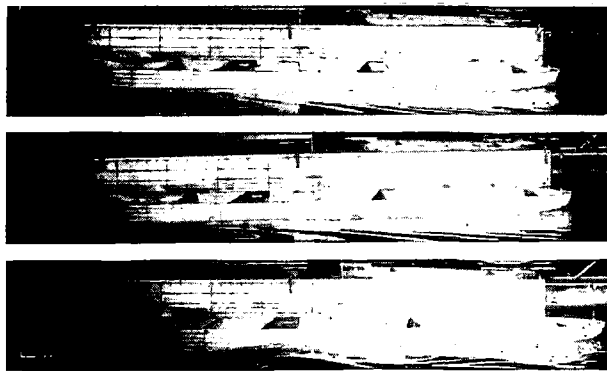


Bild 37. Wellenkontur am Modell ohne Schlitz (Versuch 30), Ausgangstiefgang LWL

37.1.	$F_n = 0,140$
37.2.	$F_n = 0,170$
37.3.	$F_n = 0,230$



Bild 39. Wellenkontur am Modell mit Bugschlitz (Versuch 21), Ausgangstiefgang LWL

39.1.	$F_n = 0,138$
39.2.	$F_n = 0,173$
39.3.	$F_n = 0,234$

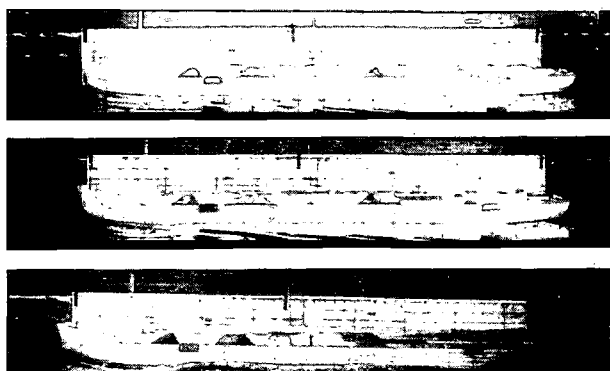


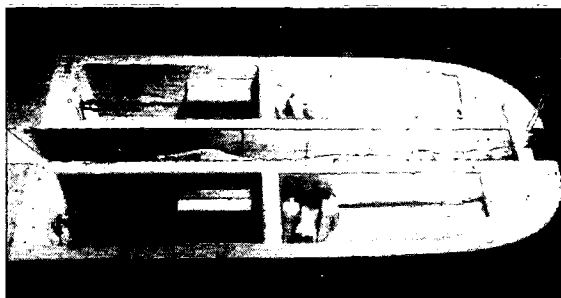
Bild 38. Wellenkontur am Modell mit Heckschlitz (Versuch 2), Ausgangstiefgang LWL

38.1.	$F_n = 0,137$
38.2.	$F_n = 0,175$
38.3.	$F_n = 0,225$

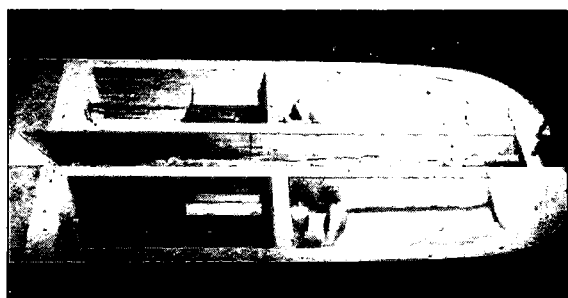


Bild 40. Wellenkontur am Modell mit geändertem Bugschlitz (Versuch 24), Ausgangstiefgang LWL

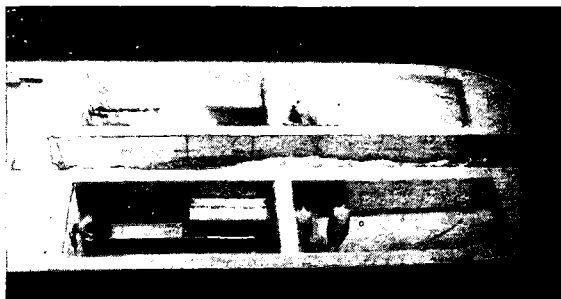
40.1.	$F_n = 0,136$
40.2.	$F_n = 0,171$
40.3.	$F_n = 0,225$



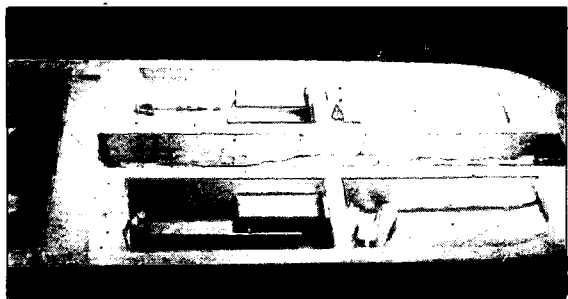
a)



c)



b)



d)

Bild 41. Instationäre Schlitzströmung nach Einzelaufnahmen (Foto Ebel)

41.1. Standbild ( $V = 0 \text{ ms}^{-1}$ )      41.2 ... 41.8       $F_n = 0,234$

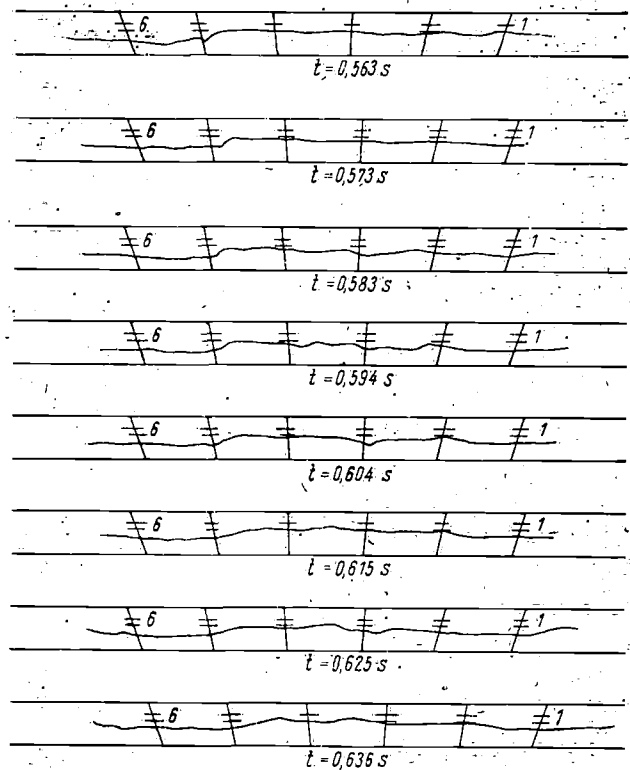
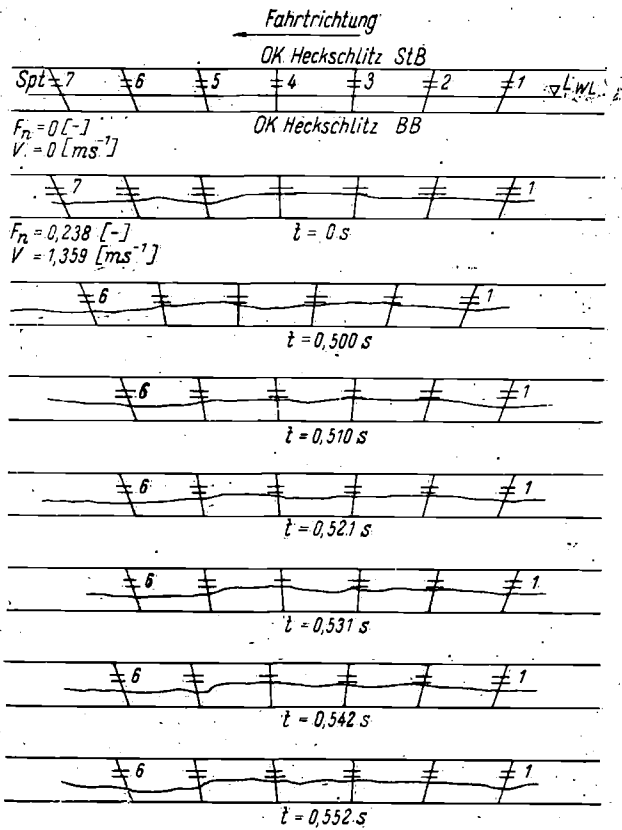


Bild 42. Instationäre Schlitzströmung nach Schmalfilmauswertung (Film Ebel)

dem Schlitzabschluß umgelenkt, so daß teilweise Absenkungen von 1,5 cm im vorderen Schlitzteil entstehen. Diese werden durch Rückströmung aus dem Bereich zwischen Schlitzspant 3 und 4 her wieder aufgefüllt.

Aus den Einzelaufnahmen in Bild 41 und aus der durch Standbildbetrachten gewonnenen zeichnerischen Auswertung eines willkürlich gewählten Zeitabschnittes, der den Bildern 0 und 48 ... 61 aus dem Schmalfilm für den höchsten  $F_n$ -Wert entspricht (Bild 42), geht der Verlauf der Schlitzströmung an der freien Wasseroberfläche deutlich hervor. Die Modelldaten entsprechen denen von Versuch 15. Der WL-Abstand im Schlitz beträgt 3 cm. Das Schlitznetz erscheint entsprechend der Aufnahme-richtung perspektivisch, jedoch ist ein Entzerren überflüssig.

Die kleinen Oberflächenstörungen traten völlig regellos und mit unterschiedlichen Richtungen auf. Sie bestanden maximal 0,05 s und bewegten sich teilweise mit dem Modell. Das Modell legte in dieser Zeit 6,8 cm  $\approx 0,4$  Spantabstand zurück. Auch der Wechsel zwischen Absinken und Ansteigen am Schlitzabschluß und auf halber Schlitzlänge tritt nicht periodisch ein. Obwohl die durch eine derartige instationäre Schlitzströmung bedingte Schwankung des für den Vortrieb erforderlichen Schubes nicht groß ist, sollte sie nach Möglichkeit vermieden werden. Bei der Schiffsform mit dem Schlitzabschluß 6 stellte sich ein regelmäßig verlaufendes Schlitzwellensystem ein. Darauf ist auch die leichte Herabsetzung des Widerstandes zurückzuführen.

#### 4. Weitere Untersuchungen

Aus den Ergebnissen der Schleppversuche am ITS einschließlich der Zusatzversuche und der mittels Schmalfilm veranschaulichten Schlitzströmung lassen sich die einzig möglichen Wege zur weiteren Herabsetzung des Widerstandes von Baggern mit Schlitz im

gegenwärtig üblichen  $F_n$ -Bereich ableiten. Hierzu wären weitere Schleppversuche und zusätzlich Propulsionsversuche sowie Untersuchungen des ökonomischen und technologischen Aufwandes erforderlich. Selbstverständlich wird beim Entwurf aus verschiedenen Gründen nicht immer die widerstandsgünstigste Form verwendet. So wurde z. B. von einer schottischen Bauwerft (s. Bild 43 aus [29]) eine Verdoppelung der Baggerleistung durch zwei Eimerleitern bei gleichzeitig höherem Widerstand infolge Spiegelheck und Schlitz vorgezogen. Die widerstandsunünstigere Bugschlitzform gestattet z. B. ein besseres Beherrschen des Baggers am Schnitt. Hierfür wäre gegebenenfalls dem Düsenruder und Bugstrahlruder Aufmerksamkeit zu widmen, wie es teilweise bereits bei Saugbaggern geschieht.

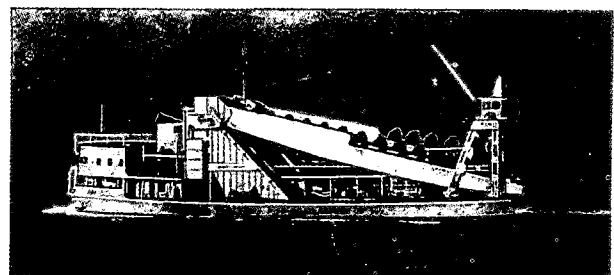


Bild 43. Eimerbagger „Ajoy“ mit zwei Eimerleitern  
Baggerleistung  $\approx 1000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ( $\rho \approx 2 \text{ t m}^{-3}$ )  
(Foto aus Shipb. Shipping Record [29])

Eine Katamaranbauweise, wie sie vor allem für Flachwasserschiffe ab mittleren  $F_n$  und bestimmten Seeschiffen mit hohem  $F_n$  vorteilhaft sein kann, eröffnet für Seebagger keine Möglichkeiten zur Widerstandsverringerung, wie aus den Grundlagenversuchen von Eggers [30] geschlossen werden darf. Gegenüber Bohrturmträ-

gern und den früher häufig als Baggereihilfsgeräte verwendeten Zweischiff-Längs- oder -Querschutenentleerern dürften auch die besonderen statischen und dynamischen Anforderungen einer derartigen Entwicklungsrichtung bei Baggern im Wege sein.

Eine selbstverständliche Maßnahme zum Vermeiden eines Anhangwiderstandes sollte die Anordnung der Berghölzer oberhalb der bei Glattwasser entstehenden Wellenkontur sein. Ferner müßte überprüft werden, ob die Berghölzer nicht durch neuartige Fender (speziell pneumatische) ersetzt werden können.

### Verwendete Symbole

(entsprechend dem Beschluß der 9. ITTC 1960 in Paris; bisher in Deutschland verwendete eingeklammert darunter, falls diese abweichen)

$A_F$ (f)	Spantfläche	[m <sup>2</sup> ]
$A_M = C_M \cdot B \cdot T$ ( $F_{\otimes} = \beta \cdot B \cdot T$ )	Hauptspantfläche	[m <sup>2</sup> ]
B, B <sub>WL</sub>	Breite auf Spanten	[m]
B <sub>S</sub>	Schlitzbreite	[m]
b <sub>B</sub>	Horizontaler Abstand zwischen den Wellenden (ohne Schlitzbreite)	[m]
$(C)_B = \frac{39,8 \cdot R_B}{\frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot \nabla^{\frac{2}{3}}}$	Beiwert für Zusatzwiderstand durch Wellenhosen	[—]
$\left( = \frac{39,8 \cdot W}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot V^{\frac{2}{3}}} \right)$		
$C_B = \frac{\nabla}{L_{WL} \cdot B_{WL} \cdot T_M}$ ( $\delta_{WL} = \frac{V}{L_{WL} \cdot B_{WL} \cdot T_M}$ )	Blockkoeffizient	[—]
$C_{BPP} = C_B \cdot \frac{L_{WL}}{L_{PP}}$ ( $\delta_L = \delta_{WL} \cdot \frac{L_{WL}}{L_L}$ )	Blockkoeffizient, bezogen auf Länge zwischen den Loten	[—]
$C_F = \frac{R_F}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot S}$ ( $\zeta_r = \frac{W_r}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot \Omega}$ )	Reibungswiderstandsbeiwert	[—]
$\Delta C_F$ ( $\Delta \zeta_r$ )	Rauhigkeitszuschlag	[—]
$C_M = \frac{A_M}{B \cdot T}$ ( $\beta = \frac{F_{\otimes}}{B \cdot T}$ )	Völligkeitsgrad des Hauptspants	[—]
$C_P = \frac{C_B}{C_M}$ ( $\varphi = \frac{\delta_{WL}}{\beta}$ )	Prismatischer Koeffizient (Zylinderkoeffizient)	[—]
$C_{PA} = \frac{\nabla_{\text{Hinterschiff}}}{\frac{1}{2} A_M \cdot L}$	Prismatischer Koeffizient des Hinterschiffes	[—]

$\left( \varphi_a = \frac{V_{\text{Hinterschiff}}}{\frac{1}{2} \cdot F_{\otimes} \cdot L} \right)$		
$C_R = \frac{R_R}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot S}$	Restwiderstandsbeiwert	[—]
$\left( \zeta_r = \frac{W_r}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot \Omega} \right)$		
$C_T = \frac{R_T}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot S}$	Gesamtwiderstandsbeiwert	[—]
$\left( \zeta_{\text{ges}} = \frac{W_{\text{ges}}}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot \Omega} \right)$		
$C_W = \frac{R_W}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot S}$ ( $\zeta_W = \frac{W_W}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot \Omega}$ )	Wellenwiderstandsbeiwert	[—]
D	Seitenhöhe	[m]
(H)		
D <sub>B</sub>	Durchmesser der Wellenhose	[m]
$F_n = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}}$	Froudesche Zahl, mit V [ms <sup>-1</sup> ]	[—]
$\left( F_r \text{ bzw. } \mathfrak{F} = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} \right)$		
f <sub>S</sub>	Schlitzdatenkorrekturfaktor	[—]
g	Schwerebeschleunigung, hier 9,81	[ms <sup>-2</sup> ]
i <sub>E</sub>	Wasserlinieneintrittswinkel	[°]
L <sub>B</sub>	Wellenhosenlänge	[m]
L <sub>PP</sub>	Länge zwischen den Loten	[m]
(L <sub>L</sub> )		
L <sub>S</sub>	Schlitzlänge	[m]
L <sub>WL</sub>	Länge in der Schwimmwasserlinie	[m]
LCB	Verdrängungsschwerpunkt der Länge nach, bezogen auf 1/2 L <sub>PP</sub> (davor +, dahinter —)	[m]
(V <sub>⊙</sub> L <sub>⊗</sub> )		
LWL (KWL)	Konstruktionswasserlinie	
R <sub>B</sub>	Wellenhosenwiderstand	[kp]
R <sub>F</sub> (W <sub>r</sub> )	Reibungswiderstand	[kp]
R <sub>L</sub>	Eimerleiterwiderstand	[kp]
$R_n = \frac{V \cdot L_{WL}}{\nu}$	Reynoldssche Zahl mit V [ms <sup>-1</sup> ]	[—]
R <sub>R</sub> (W <sub>r</sub> )	Restwiderstand	[kp]
R <sub>T</sub> (W <sub>ges</sub> )	Gesamtwiderstand	[kp]
$r_{ATTC} = \frac{C_v}{C_F \text{ ATTC}}$	Formfaktor (Zähigkeitswiderstand), bezogen auf Reibungslinie nach ATTC 1947	[—]
$r_H = \frac{C_v}{C_{FH}}$	Formfaktor (Zähigkeitswiderstand), bezogen auf Hughes-Basislinie	[—]

S ( $\Omega$ )	Benetzte Oberfläche	[m <sup>2</sup> ]
S <sub>B</sub>	Benetzte Wellenhosenoberfläche	[m <sup>2</sup> ]
T <sub>A</sub> (T <sub>h</sub> )	Tiefgang am hinteren Lot	[m]
T <sub>F</sub> (T <sub>v</sub> )	Tiefgang am vorderen Lot	[m]
T <sub>LWL</sub> (T <sub>KWL</sub> )	Konstruktionstiefgang	[m]
T, T <sub>M</sub> (T <sub>m</sub> )	Tiefgang bis zur Schwimmwasserlinie auf $\frac{1}{2} L_{pp}$	[m]
t	Zeit	[s]
t <sub>B</sub>	Abstand der Wellenenden vom Wasserspiegel	[m]
t°	Temperatur	[°C]
t <sub>L</sub>	Tauchtiefe der Eimerleiter bis Mitte Welle Unterturas	[m]
∇ (V)	Verdrängung auf Spanten	[m <sup>3</sup> ]
Δ (D)	Displacement	[kg], [t]
Δ <sub>D</sub>	Displacement beim Entwurf	[t]
Δ <sub>s</sub>	Um den Schlitz reduziertes Ausgangsdisplacement	[t]
Θ	Trimmwinkel	[°]
Θ <sub>L</sub>	Neigungswinkel der Eimerleiter gegen die Schwimmwasserlinie	[°]
λ	Modellmaßstab	[—]
ν	Kinematische Zähigkeit	[m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
ρ	Dichte	[kp s <sup>2</sup> m <sup>-4</sup> ]

Indices an Verhältniswerten:

D	beim Entwurf
S	mit Schlitz

Literatur

- [1] Paulmann, M., und Blawn, R.: Die Bagger und die Baggereihilfsgeräte. Band 1 Naßbagger. Berlin 1923 (2. Auflage).
- [2] —: Diesel-electric dredger for New Zealand. Shipbuilding and Shipping Record 100 (1962) Nr. 8, S. 255.
- [3] Rasper, L., und Thode, H.: Selbstfahrender Laderaumsaugbagger mit Dieselantrieb und vielseitig verwendbarer Baggereinrichtung. Schiff und Hafen 12 (1960) H. 2, S. 118 bis 120.
- [4] Waas, H., u. a.: „Rudolf Schmidt“ und „Johannes Gähns“, zwei neue Laderaumsaugbagger für die Fahrwasserunterhaltung an der deutschen Nordseeküste. Schiffstechnik 8 (1961) H. 43, S. 177 bis 234, hieraus Teil C: Helm, K., und Mückel, W.: Untersuchungen in Schiffbauversuchsanstalten.

- [5] Marnitz, F. v.: Schiffbauliche und maschinenbauliche Fragen bei Hopperbaggern in Amerika und Europa. Jahrbuch der STG 51 (1957), S. 156 bis 174.
- [6] Marnitz, F. v.: Widerstand bei Schwimmbaggern und einfachen Schiffskörpern für Baugeräte. Schiffstechnik 3 (1956) H. 14/15, S. 104 bis 108.
- [7] Braun, K. Th.: Zwei Beiträge zu schiffstheoretischen Fragen bei Eimerbaggern. Schiffstechnik 7 (1960) H. 37, S. 115 bis 123.
- [8] Bossow, G.: Schleppversuchseinrichtung für Lehr- und Übungszwecke. Schiffbautechnik 8 (1958) H. 1, S. 14 bis 20.
- [9] Bossow, G.: Bisherige und zukünftige Modelluntersuchungen am Institut für Theorie des Schiffes. Schiffbautechnik 10 (1960) H. 1, S. 6 bis 15.
- [10] Gätzer, H.: Die schiffbauliche Schleppversuchsanlage am Institut für Theorie des Schiffes der Schiffbautechnischen Fakultät, Universität Rostock. Schiffbautechnik 12 (1962) H. 1, S. 33 bis 35.
- [11] Henschke, W.: Die Tätigkeit der Volkseigenen Schiffbauversuchsanstalt und Ergebnisse systematischer Widerstandsuntersuchungen mit Fischkutter-Modellen. Schiffbautechnik 7 (1957) H. 1, S. 13 bis 25.
- [12] Eulitz, H.: Vergleich von Widerstandsmessungen an geometrisch ähnlichen Frachtschiffmodellen mit den Ergebnissen anderer Versuchsanstalten. Schiffbautechnik 5 (1955) H. 7, S. 204 bis 209.
- [13] Messerschmidt, W.: Tabellen zur Bestimmung der Reibungsbeiwerte nach der ITTC-1957-Korrelationslinie. Schiffbautechnik 12 (1962) H. 11, S. 580 und 581.
- [14] Lammeren, W. P. A. van, u. a.: Schiffswiderstand, Propulsion und Steuern. Übersetzung ins Deutsche von K. Th. Braun, Roßlau 1951.
- [15] Lap, A. J. W.: Hydrodynamische Grundlagen für den Schiffsentwurf. Übersetzung ins Deutsche von G. Dallach, Rostock.
- [16] Lackenby, H.: B. S. R. A. Resistance Experiments on the „Lucy Ashton“. Part III. The Ship-Model Correlation for the Shaft-Appendage Conditions. Quarterly Transactions of the Institution of Naval Architects 97 (1955) Nr. 2, S. 109 bis 166.
- [17] —: Widerstandsversuche der BSRA mit der „Lucy Ashton“ (Auszug aus dem Vortrag von H. Lackenby). Teil III. Hansa 91 (1954) Nr. 49, S. 2199 und 2200.
- [18] Messerschmidt, W.: Näherungsweise Bestimmung der benetzten Oberfläche von Schiffen mit kleinem Blockkoeffizienten. Schiffbautechnik 10 (1960) H. 4, S. 179 bis 184.
- [19] Gertler, M.: A reanalysis of the original test data for the Taylor standard series. DTMB report 806, Washington 1954.
- [20] —: Schiffbautechnisches Handbuch, Bd. 1, herausgegeben von W. Henschke, 2. Auflage, Berlin 1957.
- [21] Pawlenko, G. E.: Soprotiwlenije Wodi Dwishtjenju Sudow (Der Wasserwiderstand von Schiffen). Moskau 1953.
- [22] Saunders, H. E.: Model Resistance and Expanded Resistance Data Sheeps. SNAME. New York 1953 usf.
- [23] Artjuschkow, L. S., und Woitkewski, Ja. J.: Über die Bestimmung des Zähigkeitswiderstandes bei Hochsee-Transportschiffen (Russ.).
- [24] Weinblum, G., u. a.: Untersuchungen über den Widerstand einer systematisch entwickelten Modellfamilie. Schiff und Hafen 14 (1962) Nr. 12, S. 1107 bis 1111.
- [25] Yokoo, K.: Effect of Sinkage and Trim on Form Factor of Resistance. Journal of Zosen Kiokai 108 (1960) Dezember, S. 15 bis 22.
- [26] Acevedo, M. L.: On the use of trip wires as turbulence stimulators. Schiffstechnik 4 (1957) H. 21, S. 114 bis 116.
- [27] Koslow, L. F.: Über die Verwendung von Turbulenzdrähten bei Schiffmodellversuchen (russ.). Sudostroenie 28 (1962) Nr. 1, S. 15 und 16.
- [28] Prohaska, C. W.: Trial trip analysis for six sister ships using a new method of analysis. International Shipbuilding Progress 9 (1962) Nr. 95, S. 279 bis 294.
- [29] —: Double Ladder Bucket Dredger „Ajoy“. Shipbuilding and Shipping Record 101 (1963) Nr. 25, Reklame S. 39.
- [30] Eggers, K.: Über Widerstandsverhältnisse von Zweikörperschiffen. Jahrbuch der STG 49 (1955), S. 516 bis 539.

Teil B Seite 32

# Errata !

Druckfehlerberichtigung zu:

"Versuche mit Modellen von See-Eimerbaggern" (Teil A: Schlepversuche)  
Schiffbauforschung 3 (1964) Heft 1

In den Bildern 11 bis 24, 26, 27, 29, 30 und 32 bis 36 ist das negative Vorzeichen vor den Abszissenwerten zu tilgen und das Zeichen für Dimensionslosigkeit [-] an die Abszissenachse  $F_n$  zu setzen. In Bild 25 ist das negative Vorzeichen vor jedem Koordinatenwert zu tilgen und das Zeichen für Dimensionslosigkeit an alle drei Koordinatenachsen zu setzen. In gleicher Weise ist mit den Ordinaten der Bilder 31, 35 und 36 zu verfahren.

Die Ordinatenbezeichnung  $C_B$  (Blockkoeffizient) in Bild 12 ist durch  $(C)_B$ , Beiwert für den Wellenhosenzusatzwiderstand, zu ersetzen. Die Ordinatenbezeichnung in Bild 31 lautet nicht  $R_T$ , sondern:

$R_T$  (mit bzw. ohne Eimerleiter) Versuch 1 bis 19

$R_T$  (ohne Eimerleiter) Versuch 2

Ferner: S. 15 r.u. Zeile 9 "veränderten" statt "verändern"

S. 17 l.u. Zeile 8  $\frac{S_i}{\Delta t}$  statt  $\frac{S_i}{\Delta t}$

S. 28 Tilgen der Bildnummern 41.1 Standbild u. 41.2...41.8 sowie der Kennzeichnungen a) bis d)

S. 29 l.u. Zeile 22 Ersatz Q durch 0 in "obwohl"

Bildunterschrift zu Bild 12:  $(C)_B$  - Werte statt  $(C)$  - Werte

S. 18 r.u. Zeile 10 "darstellt" statt "dargestellt"

(Teil B: Manövrierversuche)

S. 35 Abschn. 3.1.2 Zeile 6:  $\dot{\psi} = \frac{d\psi}{dt}$  statt  $\dot{\psi} = \frac{d\psi}{dt}$

S. 36 r.u. unterste Zeile: Anschwenkzeit  $\psi_A$  statt  
Ausschwenkzeit  $\xi_A$

S. 37 l.o. oberste Zeile:  $\psi_s$  statt  $\xi_s$