

SCHIFFSWIDERSTAND  
UND  
SCHIFFSBETRIEB

NACH VERSUCHEN AUF DEM DORTMUND-EMS-KANAL

IM AUFTRAGE DES HERRN MINISTERS DER ÖFFENTLICHEN ARBEITEN

BEARBEITET

VON

**R. HAACK**  
INGENIEUR UND KÖNIGL. BAURATH



TEXTBAND

BERLIN  
VERLAG VON A. ASHER & CO.

1900



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300769



# SCHIFFSWIDERSTAND

1890

# SCHIFFSBETRIEB

NACH VERSUCHEN AUF DEM DORTMUND-EMS-KANAL

IM AUFTRAG DES DEUTSCHEN REICHS-SEE-UND-FLUGWERKAMTES

R. HAACK

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN



TEXTBAND

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN







# SCHIFFSWIDERSTAND

UND

# SCHIFFSBETRIEB

NACH VERSUCHEN AUF DEM DORTMUND-EMS-KANAL

IM AUFTRAGE DES HERRN MINISTERS DER ÖFFENTLICHEN ARBEITEN

BEARBEITET

VON

**R. HAACK**

INGENIEUR UND KÖNIGL. BAURATH



TEXTBAND



BERLIN

VERLAG VON A. ASHER & CO.

1900

Handwritten numbers: 2319 with a small 'x' above it.





III 18021

Druck von H. S. Hermann in Berlin.

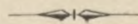
Akc. Nr. 324/52



# INHALTSVERZEICHNISS.

	Seite.		Seite.
Einleitung . . . . .	1	e. Krängung der Schiffe bei Zusammenstößen . . . . .	81
<b>I. Vorbereitungen zu den Versuchen</b> . . . . .	5	f. Ueberholen eines Schiffes durch ein schneller fahrendes . . . . .	82
A. Der Arbeitsplan . . . . .	5	g. Begegnungen . . . . .	84
B. Die Versuchsstrecke . . . . .	6	h. Durchfahren von Kurven . . . . .	85
C. Die Apparate . . . . .	8	i. Aufstossen auf den Grund während der Fahrt . . . . .	86
1. Der Geschwindigkeitsmesser . . . . .	8	k. Einfluss der negativen Strömung auf Räder und Schraube . . . . .	88
2. Das Dynamometer . . . . .	11	l. Veränderungen des Trimmings während der Fahrt . . . . .	89
3. Die photographischen Apparate . . . . .	18	2. In unbegrenztem Wasser . . . . .	89
4. Die Pendel . . . . .	19	a. Schwieriges Steuern und Gieren der Schiffe . . . . .	90
5. Die Pegel zum Messen der Einsenkung . . . . .	22	b. Entstehung der Derivation . . . . .	91
6. Die Landpegel . . . . .	22	c. Krängung der Schiffe beim Drehen . . . . .	91
7. Die Pegel an den Schiffsseiten . . . . .	23	d. Abtrift der Schiffe . . . . .	92
8. Die Chronographen . . . . .	23	C. Vertheilung der indicirten Pferdestärken . . . . .	92
9. Ein Woltmann'scher Flügel . . . . .	23	D. Ueber die Beantwortung der Fragen . . . . .	96
10. Die Indicatoren . . . . .	23	1. Geschwindigkeiten und Tiefgänge . . . . .	96
11. Ein Tourenzähler für die Maschine . . . . .	23	2. Versuche bei Hanekenfähr . . . . .	99
12. Anemometer . . . . .	23	3. Begegnungsversuche mit Schleppzügen . . . . .	101
<b>II. Die Versuchsschiffe</b> . . . . .	24	<b>VI. Vorschläge für den Bau von Kanalschiffen</b> . . . . .	103
<b>III. Die Versuche</b> . . . . .	29	<b>VII. Ueber einige Mängel der Versuchsstrecke und deren Einrichtung</b> . . . . .	110
A. Beginn und Zahl der Versuche . . . . .	29	<b>Verzeichniss zum Auffinden der einzelnen Versuche etc. auf den Tafeln</b> . . . . .	113
B. Art der Ausführung . . . . .	30	<b>Beilage I.</b>	
<b>IV. Versuchsergebnisse</b> . . . . .	32	Fig. 1. Diagramm des Geschwindigkeitsmessers Lloydkahn von Goedhart geschleppt.	
A. Die Zugkräfte und Pferdestärken . . . . .	32	„ 2. Massstäbe.	
B. Die Photographieen . . . . .	34	„ 3. Darstellung der Fehler von Manometer I und II.	
C. Die Lichtdruckbilder und Photolithographieen . . . . .	35	„ 4. Darstellung der Fehler von Manometer I und II nach der früheren Prüfung.	
1. Anfertigung der Tafeln nach den Photographieen . . . . .	35	<b>Beilage II.</b>	
2. Beschreibung der Tafeln . . . . .	38	Fig. 1. $\Delta Q_1$ -Kurve.	
3. Tabellen . . . . .	43	„ 2. $\zeta$ -Kurven für Emden.	
D. Durch die Fortbewegung der Schiffe erzeugte Strömungen . . . . .	52	„ 3. $\zeta$ -Kurven für Lloydkahn.	
1. Strömungen im Kanal als Folge der Schiffsbewegung . . . . .	52	„ 4. Projektion der $\zeta$ -Kurven auf die bei 1,00, 1,30, 1,60, 1,90, 2,20, 2,50, 2,80 m/sec. gedachten Ebenen.	
2. Wirkungen der Strömungen . . . . .	55		
E. Die Einsenkung der Schiffe während der Fahrt . . . . .	56		
<b>V. Folgerungen</b> . . . . .	63		
A. Schiffswiderstand . . . . .	63		
B. Wirkung der Einsenkung auf die Bewegung der Schiffe . . . . .	74		
1. In begrenztem Wasser . . . . .	76		
a. Schwierigkeiten beim Steuern . . . . .	76		
b. Seitliche Verschiebung der Schiffe . . . . .	77		
c. Wirkung des Ruders wird ungenügend . . . . .	78		
d. Absetzen vom Ufer . . . . .	78		

*Die Tafelverzeichnisse befinden sich in den beiden zu diesem Werke gehörigen Tafelbänden.*





**Berichtigungen:**

**Beilage II** Fig. 1 rechts oben: cbm muss heissen: qm.

**Tafel 48**, Fig. 4 unten:  $\Delta Q = 281$  cbm muss heissen:  $\Delta QL = 281$  cbm.

- „ **54**, „ 2 links: E. M. L. vorn 1,25 m nach B. B. muss heissen: E. M. L. vorn 0,25 m nach B. B.  
„ **55**, „ 4 „ L = 65,50 m muss heissen: L = 65,60 m  
„ **56**, „ 4 „ L = 65,60 m „ „ L = 66,00 m  
„ **70**, „ 1 „  $\Delta Q = 0,64$  qm muss heissen  $\Delta Q = 0,75$  qm.



## EINLEITUNG.

---

Die Abmessungen des Dortmund-Ems-Kanals sind so gross gewählt, dass Schiffe von 600 t Ladefähigkeit und sogar noch grössere ihn befahren können.

Nach der Bauart der Schleusen wurde für die grösste Länge der Schiffe über alles gemessen das Maass von 67 m, für die grösste Breite über die Schutzhölzer 8,20 m angenommen. Die grösste Tauchtiefe ergab sich bei der Bestimmung des Wasserquerschnitts im Kanal, der mindestens das Vierfache des eintauchenden Schiffsquerschnitts betragen sollte, zu 1,75 m.

Bei diesen Schiffsabmessungen und bei einer Wassertiefe im Kanal von 2,5 m wurde mit Rücksicht auf die Lenkbarkeit der Fahrzeuge und auf die Betriebssicherheit namentlich in den Krümmungen des Kanals und bei Begegnungen mit anderen Fahrzeugen, sowie auf Schwankungen der Wasserspiegelhöhe, die infolge von Stauungen, Störungen in der Wasserzuführung und aus anderen Ursachen eintreten, ferner auf Unebenheiten der Kanalsohle durch hier entstehende Ablagerungen und Verschiebungen, und nicht zum Geringsten auf die Ueberwindung des Schiffswiderstandes eine höchste Fahrgeschwindigkeit von 5 km/std., d. i. 1,4 m/sec. noch für zulässig erachtet.

Aus Schifferkreisen wurde hiergegen geltend gemacht, dass es für die Kanalschifffahrt von Bedeutung sei, einen grösseren Tiefgang bis zu 2 m zuzulassen. Da jedoch das Maass der Wirkung, welche die Fahrt von Schiffen der angegebenen Grösse bei verschiedenen Tiefgängen und Geschwindigkeiten auf die Veränderungen des Kanalquerschnitts ausübt, nicht genügend bekannt war, so wurde von dem Herrn Minister der öffentlichen Arbeiten v. Thielen, Excellenz, eine Kommission, bestehend aus den Herren Thiele-Lingen, Meier-Papenburg und Haack-Charlottenburg eingesetzt, die mittels eigens für den Zweck anzustellender Versuchsfahrten das fehlende Material für die Beantwortung der einschlägigen Fragen beschaffen sollte.

Die Apparate und Einrichtungen der Versuchstrecke wurden seitens der Kommission im Frühjahr 1898 beschafft und betriebsfähig aufgestellt, so dass mit den Versuchsfahrten am 9. Mai 1898 begonnen werden konnte. Sie dauerten bis zum 28. August desselben Jahres und erlitten nur einige Unterbrechungen durch Pollerbrüche, Zusammenstossen der Versuchsschiffe und andere Störungen geringfügiger Art.



Die Versuchsergebnisse lieferten ausreichendes Material für die Beantwortung der vorgelegten Fragen, und ausserdem willkommene Aufschlüsse über die Wasserbewegung, welche durch die Fortbewegung von Schiffen in begrenztem, stehenden Wasser erzeugt wird.

In der nachfolgenden Bearbeitung und in den beigegebenen Lichtdruckbildern und Photolithographien wird ein Theil des gesammelten Materials zur Veröffentlichung gebracht und weiteren Kreisen, die sich mit der Untersuchung der hier behandelten und damit verwandter Materien befassen, zugänglich gemacht.

Ich darf hoffen, dass die vorliegende Abhandlung die Erforschung der Gesetze des Widerstandes der Schiffe bei ihrer Fortbewegung in begrenzten und unbegrenzten Gewässern wesentlich fördern wird, und die Folgerungen aus den vorgeführten, wenn nöthig noch zu ergänzenden Versuchen, weitere Klarheit schaffen werden. Jeder Beitrag, der dazu hilft, die noch bestehenden Lücken in der Erkenntniss jener Gesetze auszufüllen, ist für den wissenschaftlichen Theil des Schiffbaues von unverkennbarem Werth.

Schon frühzeitig wurden Versuche über den Schiffswiderstand angestellt. Das erste bekannte Werk, das über dergleichen Versuche berichtet und sie wissenschaftlich behandelt, ist 1763 vom Père Ignace Pardies geschrieben und diesem folgt eine ganze Reihe von meist hochgelehrten Autoren. Viele machten Versuche und gründeten daraufhin Theorien, darunter Euler, Chapmann, Eytelwein, Scott-Russell u. a. m., denen es indess trotz grosser mathematischer Kenntnisse und trotz aller Mühe und Sorgfalt, welche sie ihren Arbeiten widmeten, nicht gelang, einen gangbaren Weg zur abschliessenden Ermittlung des Schiffswiderstandes zu finden. Erst die letzten Jahrzehnte haben mehr Klarheit über diesen hochwichtigen wissenschaftlichen Theil des Schiffbaues gebracht und in erster Reihe war es Mr. W. Froude, welcher auf Grund der von Professor Rankine aufgestellten Stromlinien-Theorie den Schiffswiderstand je nach seiner Entstehung in verschiedene Arten zerlegte und auf Veranlassung der englischen Admiralität durch Versuche im Grossen ein Verfahren fand, mittels dessen man nach dem Widerstand kleiner Modelle, welcher durch sorgfältige directe Versuche festgestellt wird, den Widerstand grosser, nach derselben Zeichnung erbauter Schiffe zu berechnen im Stande ist.

Das Bestreben der meisten dieser Forschungen war jedoch auf Erlangung der Kenntniss des Widerstandes gerichtet, welchen die in unbegrenztem Wasser fahrenden Schiffe erleiden; nur ganz vereinzelt wurde die Kanal- und Flussschiffahrt, bei welcher sich die Untersuchungen noch schwieriger gestalten, mit hineingezogen. Diese erforderten erst recht umfangreiche und kostspielige Versuche, und da die Mittel von Privatleuten nur in wenigen Fällen zur Verfügung standen, die Versuche meistens auch nur im Interesse der Geldspender verwerthet wurden, so waren es allein die Regierungen, welche derartige Versuche im allgemeinen Interesse ausführen lassen konnten.



1890, 91, 92, 93, 94 und 95 wurden in Frankreich unter Leitung des Ingenieur en Chef des Ponts et Chaussées, M. de Mas auf Kanälen und Flüssen mit verschiedenartigen Schiffen und Schleppzügen umfassende Versuche gemacht, deren sorgfältige Ausführung und Bearbeitung einen äusserst schätzenswerthen Beitrag zur Lösung der Frage über den Schiffswiderstand geliefert haben. 1890 liess der Königl. Preussische Minister der öffentlichen Arbeiten auf dem Oder-Spree-Kanal unter Leitung des Königl. Bauraths Mohr Schleppversuche mit Lokomotiven und mit Wandertau machen. Aber alle diese Versuche haben keinerlei Ergebnisse geliefert, welche sich zu der Beantwortung der für den Dortmund-Ems-Kanal an die Kommission gestellten Fragen eigneten. Nirgends fanden sich verwendbare Angaben über die Strömungen, welche im Kanalwasser durch die Schrauben der Dampfer, oder durch die in Fahrt befindlichen Schiffe erzeugt, Einfluss auf die Kanalwandungen ausüben. Brauchbare Angaben über die Wirkung dieser Strömungen auf verschiedenartig gebildete und aus verschiedenem Material bestehende Kanalbetten dürften schwerlich aufzufinden sein.

Versuche im Kleinen auf sogenannten Versuchstanks konnten nicht zu brauchbaren Ergebnissen führen und somit blieb allein die Möglichkeit, durch Versuche im Grossen das geeignete Material zu beschaffen.

Für die angeordneten Versuche auf dem Dortmund-Ems-Kanal mussten zur Erforschung jener Wirkungen besondere Einrichtungen getroffen werden, die in Vorrichtungen zur Feststellung von Richtung und Stärke der etwa vorhandenen Wasserbewegungen und ausserdem zur Ermittlung der Veränderungen dienten, welche durch die Wasserbewegungen im Kanal nach einer grösseren Anzahl von Versuchen verursacht worden waren.







# I.

## Vorbereitungen zu den Versuchen.

### A. Der Arbeitsplan.

Für die Vorbereitung und die Ausführung der Versuchsfahrten diene ein Arbeitsplan, der von der Kommission ausgearbeitet war. Bei der Prüfung dieses Planes im Ministerium der öffentlichen Arbeiten war schon darauf hingewiesen worden, dass Abweichungen, die im Verlauf der Versuche sich als zweckmässig ergeben würden, gestattet sein sollten. Von dieser Erlaubniss musste nachher wiederholt Gebrauch gemacht werden.

Die Fragen, welche der Kommission zur Beantwortung vorgelegt waren, lauteten:

1. welche grösste Geschwindigkeit darf bei Schiffen die bis zu 1,75 m eintauchen und zwar sowohl geschleppten, wie durch eigene Kraft fortbewegten, auf dem Dortmund-Ems-Kanal zugelassen werden?
2. ist eine grössere Tauchtiefe, eventuell bis zu welchem Maasse zulässig, und wie ist für diese die Maximalgeschwindigkeit festzusetzen?

Für die Versuchsfahrten standen zur Verfügung:

- ein Schleppdampfer,
- zwei neue Kanalfahrzeuge,
- ein Seekahn,

deren Form und Grösse später angegeben werden soll.

Die Untersuchungen sollten sich erstrecken auf die Fortbewegung

- a) eines Schleppkahns von einem Dampfer geschleppt,
- b) zweier Schleppkähne „ „ „ „
- c) eines Seekahns „ „ „ „
- d) eines Schleppkahns mit eigenem Dampfmotor.

Dabei sollten die Beobachtungen gerichtet werden auf:

1. die Geschwindigkeit der Fahrzeuge,
2. die strömende und schwingende Bewegung des Wassers,
3. die etwaigen Verschiedenheiten des Tiefganges vorne und hinten,
4. die Einwirkungen auf die Sohle und die Ufer des Kanals,
5. die Zugkraft im Schlepptau,
6. die für die Fortbewegung der Schiffe erforderlichen ind. Pferdestärken des Schleppdampfers resp. des eigenen Motors.



Um die Beobachtungen von der Zuverlässigkeit der Beobachter möglichst unabhängig zu machen, und um die Zahl der letzten möglichst einzuschränken, wurde bestimmt, dass die Aufzeichnungen durch selbstzeichnende Apparate oder auf photographischem Wege erfolgen sollten.

Für die Kanalschiffe wurden Versuche bei 1,50 m, 1,75 m, 2 m und 2,25 m Tiefgang bei Geschwindigkeiten von 1,00, 1,25, 1,50, 1,75, 2,00, 2,25 und 2,50 m/sec. in der Weise vorgeschrieben, dass von den weniger wichtigen, d. h. denen mit geringerer Geschwindigkeit und geringerem Tiefgang, als eventuell in Frage kommen könnte, je 2, bei allen anderen, soweit die zur Verfügung stehende Kraft des Schleppdampfers sowie die Kraft der Maschine des mit eigenem Motor versehenen Kanalschiffes überhaupt ausreichen, je 10 Fahrten gemacht werden sollten. Für die Versuche mit dem Seekahn wurden unter den oben zuerst angegebenen Bedingungen ebenfalls je 2 Fahrten, im Uebrigen je 4 Fahrten für ausreichend erachtet, weil diese nur den Zweck hatten, über etwa zulässige besondere Begünstigungen für diese Art von Schiffen zuverlässige Unterlagen zu liefern.

#### B. Die Versuchsstrecke.

Für die Versuchsfahrten wurde eine Kanalstrecke bei Lingen zwischen den Stationen 74—88 ausgewählt. Die eigentliche Beobachtungsstrecke von 100 m Länge befand sich am nordwestlichen Ende der Versuchsstrecke; ihre Ufer waren durch Schilfwuchs befestigt; ihre Einrichtung ist auf *Tafel 48* dargestellt.

Auf dem Lageplan an den mit P bezeichneten 13 Stellen des rechtseitigen Kanalufers sind an Gerüsten, die in dem Querschnitt gezeichnet sind, Pendel angebracht, deren untere, mit Platten versehene Enden im Wasser hängen, welche in der Richtung des Kanals frei schwingen können und die Richtung, sowie die Stärke des etwa am Ufer vorhandenen Stromes angeben sollten. Bei L liegen in der Böschung 13 Landpegel mit ihren Nullpunkten dem Normal-Wasserstande in der Strecke entsprechend. Sie sind bestimmt, die verschiedenen Wasserstände innerhalb der Höhe eines Meters anzugeben, davon liegen 40 cm unter und 60 cm über dem Nullpunkt. Die Pegel sind an genau ausgerichteten, durch Pfähle im Boden befestigte Unterlagen angeschraubt und mit dem Rasen der Böschung ausgeglichen, so dass Strömungen frei darüber hinfließen können.

Auf derselben Böschung sind, wie der Höhenplan ebenfalls zeigt, zwei weissgestrichene Bretter a, a, von 6 m Länge an Pfählen befestigt; ihre wagerechten Linien, welche mit dem Focus der am gegenüber liegenden Ufer aufgestellten Camera 4 in derselben Horizontalebene liegen, dienen zur Feststellung der Lage der Schiffe zu dieser Horizontalebene in der Ruhe sowohl wie während der Fahrt. Für die später mit dem



höheren Lloyd Kahn angestellten Versuche mussten oberhalb dieser Linien noch 2 andere Horizontallinien angebracht und die Camera 4 höher gestellt werden.

Etwas weiter zurückliegend, über den Leinpfad hinweg, sind zwei Tafeln b, b so auf Pfählen befestigt, dass wenigstens eine derselben auf jeder der durch sämtliche 4 Camera's aufgenommenen Photographien erscheinen muss. Auf diesen Brettern wurden Datum, Nummer des Versuches, Tiefgang und beabsichtigte Geschwindigkeit des Schiffes, sowie Länge des angewandten Bugsirtaues mittelst angehängter, beschriebener Blechtafeln angebracht. Die Zeit der photographischen Aufnahme der Versuche lässt sich in den meisten Fällen von der Uhr ablesen, welche in der Mitte des ersten der vorhin beschriebenen wagerechten Bretter a aufgehängt ist. Leider blieb sie mitunter, beeinflusst durch die Witterung, plötzlich stehen und sind deshalb ihre Angaben nicht alle zuverlässig.

Je zwei zu Anfang und zu Ende der Beobachtungsstrecke stehende Baken c, c und d, d bezeichnen zwei genau abgemessene, zur Kanalmittellinie winkelrecht gelegene Linien, deren Entfernung von einander 100 m beträgt. Die bei dem Durchfahren dieser 100 m gebrauchte Zeit wurde mittels Chronograph festgestellt und damit die von dem Geschwindigkeitsmesser angegebene Fahrgeschwindigkeit controlirt. An den am meisten landeinwärts stehenden Baken, welche höher als die beiden anderen sind, sowie an zwei weiteren Baken sind weisse, mit horizontalen schwarzen Linien versehene Tafeln genau derartig ausgerichtet, dass sie mit den Brennpunkten der Camera's 1, 2 und 3 in derselben Horizontalebene liegen, um deren richtige Aufstellung jederzeit leicht prüfen zu können.

Auf dem linken Ufer bei 4 steht das Gerüst mit der vierten Camera, deren Höhe aus dem Querschnitt ersichtlich ist. Die Camera's 1, 2 und 3 wurden so erheblich höher gestellt, um mit ihnen das im Kanal befindliche Schiff mit den daran angebrachten Pegeln und darüber hinweg das ganze rechte Ufer mit den Pendeln, Pegeln etc. gleichzeitig aufnehmen zu können.

Auf dem Lageplan befinden sich noch 11 Strichpunktlinien —.—; welche rechtwinklig zur Kanalmittellinie liegen. Hier wurden vor Beginn der Versuche und in der Regel nach 10 Fahrten die Kanalprofile sorgfältig aufgenommen, um die etwa durch die Strömungen etc. entstandenen Profiländerungen festzulegen. Ein Versuch, diese Aufnahme photographisch herzustellen, führte nicht zum Ziel, weil sich die erforderliche Genauigkeit nicht erreichen liess. Siehe *Tafel 47 Fig. 13*.

Zur Feststellung des bei jeder einzelnen Fahrt in der Versuchsstrecke vorhandenen Wasserstandes diente ein besonderer Pegel. Die Mittellinie des Kanals war durch zwei an dessen N. W. Ende aufgestellten Baken den Rudersleuten sichtbar bezeichnet, damit diese vom Schiffe aus möglichst genau die Kanalmitte erkennen und danach steuern konnten.



### C. Die Apparate.

1. Der Geschwindigkeitsmesser. Die gewöhnlichen Geschwindigkeitsmesser konnten für die Beantwortung der Fragen nicht genügen, weil die Vorschriften für die Versuche die Innehaltung einer bestimmten Geschwindigkeit in der Beobachtungstrecke erforderten und diese Geschwindigkeit musste, um sie sicher inne halten zu können, schon ca. 50 m vor Anfang der Strecke mit dem Versuchsschiff erreicht sein. Es wurde deshalb vom Mechaniker R. Fuess in Steglitz bei Berlin der in den Textfiguren dargestellte Apparat construirt. Dieser besteht aus einem hinten auf dem Versuchsschiff stehenden Gestell, (*Taf. 77 Fig. 5*) welches die Lager für die Welle der Trommel A trägt. Die Trommel dient zur Aufnahme der Messleine aus feinem Stahldraht von 4 mm Durchmesser und 1000 m Länge. Die Messleine wurde um eine Rolle B von 1 m Umfang, deren Welle auf demselben Gestell gelagert ist, einmal herumgeschlungen, und zwischen Rollen geführt, über das Hinterschiff hinaus in einem mitten im Kanal festgelegten Boot befestigt. Sobald nun die Fahrt begann, wickelte sich die Messleine von der grossen Trommel ab und drehte die beschriebene Messrolle B, mit der bei jedem Umgange 1 m Weglänge gemessen wurde. Die mit ihr mittels Universalgelenk verbundene Welle a (*Textfig. 1 u. 2*), welche durch den kleinen Hebel b mit dem Registrirapparat gekuppelt werden kann, macht also ebenfalls eine Umdrehung während des Fortschreitens des Schiffes um 1 m und überträgt diese Bewegung vermittels eines Paares konischer Räder auf die Registrirtrommel c und durch ein zweites Paar auf das Gyrometer d.

Letzteres, ein bisher wenig bekanntes Instrument, wird von der Firma Rich. Gradenwitz in Berlin nach dem Patent von Dr. Braun gefertigt. Es besteht aus einem, mit einer Kuppel geschlossenen Glasgefäss, dessen offenes Ende durch eine Messingfassung wasserdicht verschlossen, mit der verticalen Welle e verbunden ist; letztere wird durch die Welle a bewegt. Das Glasgefäss (*Textfig. 3*) ist bis auf eine gewisse Höhe mit einer Lösung von Glycerin und Wasser gefüllt, welche je nach der Umdrehungsgeschwindigkeit vermöge der Centrifugalkraft an den Wänden steigt, während der Paraboloidscheitel in der Mitte der Oberfläche sich entsprechend senkt. Der Grad der Senkung ist als Maass der Geschwindigkeit benutzt und letztere kann direct nach den auf dem Glase sichtbaren, scharf markirten Linien abgelesen werden. Die Theilung zeigt die ganzen und halben Meter der abgelaufenen Messleine an und kann leicht durch Zwischenabtheilung für  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{1}{8}$  Meter ergänzt werden.

Diese Art von Umdrehungszählern ist bis jetzt die einzige, welche von der königl. physicalischen Reichsanstalt geprüft und mit einer Bescheinigung über die Zuverlässigkeit versehen wird. Das Prüfungszeugniss lautete wörtlich:

„Die Unsicherheit der ermittelten Umdrehungszahlen beträgt etwa + 0,5 Umdrehungen in der Minute.“



Ein so geringer Fehler konnte keine Bedeutung haben, denn bei 1 m Schiffsgeschwindigkeit nach der Messleine musste der Apparat 60,5 Umdrehungen in der Minute machen. Der Fehler betrug also nur 0,8% höchstens.

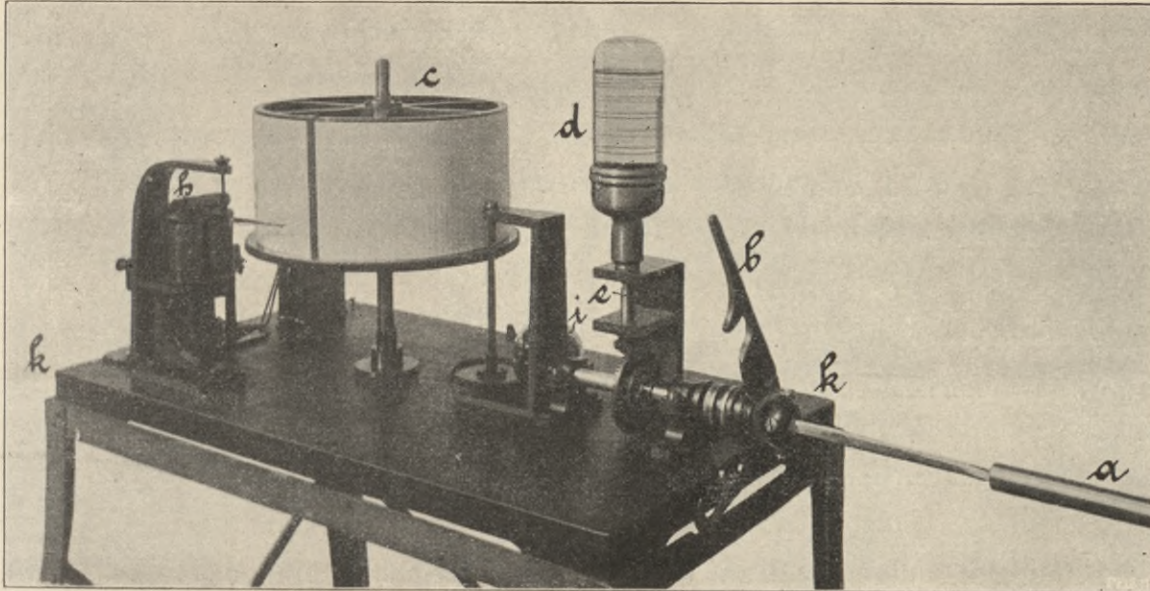


Fig. 1.

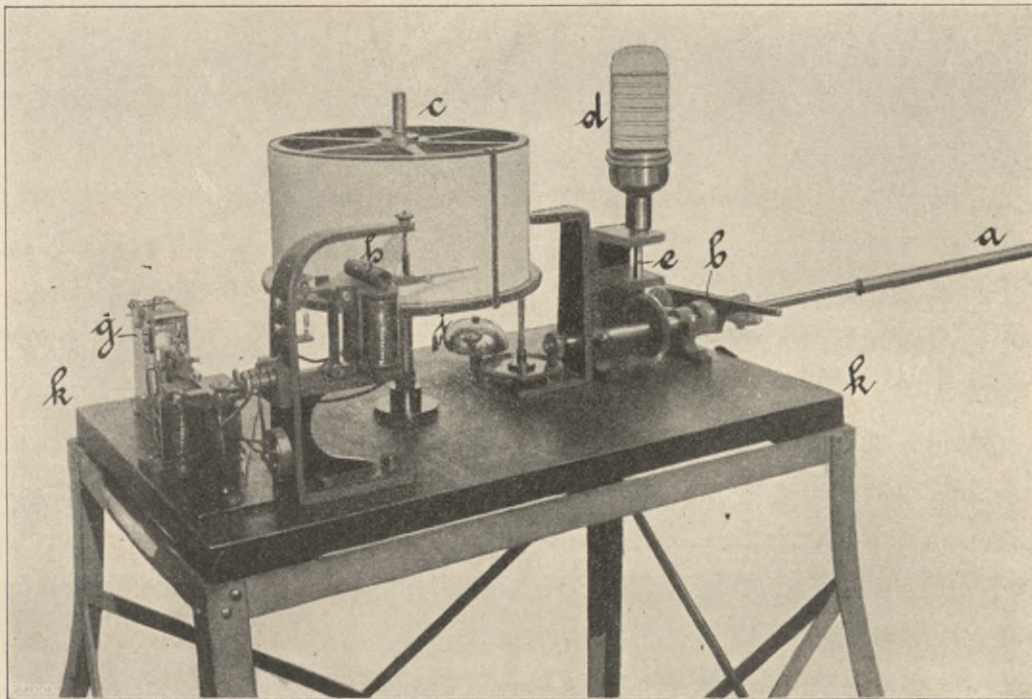


Fig. 2.

Die von der Welle a angetriebene Registritrommel bewegt sich auf ihrer als Schraubenspindel ausgebildeten Welle nach unten, so dass mittels der Schreibfeder auf dem Papier eine schraubenförmige Linie gezeichnet wird. Die Feder macht ausserdem,



veranlasst durch die Sekundenuhr *g* und den elektrischen Contact *h*, jede Sekunde auf dem Papier einen kurzen verticalen Strich, wodurch die in der Zeit durchlaufene Weglänge bezeichnet wird. Da das Papier in der einem Meter der Messleine entsprechenden Entfernung mit verticalen Linien versehen ist, lässt sich auch hiernach die Geschwindigkeit ermitteln, mit welcher das Schiff fortbewegt wird, was jedoch 5 bis 10 Sekunden an Zeit erfordert, während das Gyrometer die Geschwindigkeit jederzeit sofort ablesen lässt. Der Papierstreifen ist 0,115 m breit, 0,70 m lang und für Diagramme (*Beilage I Fig. 1*) von 4 Versuchsfahrten ausreichend.

Eine Glocke *i* ertönt, wenn die Registrirtrommel ihren niedrigsten Stand erreicht hat, sie muss dann mittels einer unter der Grundplatte *k* befindlichen Kurbel wieder hochgeschraubt werden.

Nach Beendigung der Fahrt beim Zurückschleppen des Versuchsschiffes wurde die Messleine wieder auf ihre Trommel aufgewickelt, indem sie in einen eisernen Haken gelegt wurde, der oben am Schornstein des Schlepddampfers festgenietet war. So konnte die Leine mühelos aufgerollt und nicht durch die Schiffsschraube gefasst werden, während der Dampfer in seinen Bewegungen ungehindert war.

Der beschriebene Apparat arbeitete von Anfang bis Ende tadellos, und die Diagramme lassen jede Bewegung während der Fahrt feststellen. Von der Messleine wurden gewöhnlich 7—800 m gebraucht; sie genügte für die sämtlichen Versuche, so dass die beschaffte Reserveleine nicht zur Verwendung kam.

Mehrfache Versuche mit dem einfach construirten Geschwindigkeitsmesser in der Werkstätte des Verfertigers ergaben seine volle Zuverlässigkeit. Weil jedoch die ursprüngliche Messleine, nach Art der Loggleinen für Schiffe aus Hanf geflochten, anscheinend zu leicht dehnbar war, so wurde eine Prüfung des Apparats in der mechanisch-technischen Versuchsanstalt zu Charlottenburg angeordnet. Der vollständig zusammengestellte Apparat nebst der Rolle, auf welche die Messleine gewickelt war, wurde zunächst mit seiner Welle parallel einer Transmissionswelle aufgestellt, welche gleichmässig von der Betriebsmaschine aus betrieben und mit Rollen von verschiedenem Durchmesser versehen war, über welche die Messleine der Reihe nach gelegt und mittels einer Spannrolle darauf niedergehalten wurde. Die Umfänge der Rollen waren so bemessen, dass die daraufgelegte Leine mit einer Geschwindigkeit von 1, 1,5, 1,75 und 2 m abgewickelt wurde. Hierbei ergab das Gyrometer, sowie das Diagramm jedes Mal ziemlich genau die Geschwindigkeit, welche der Zugrolle entsprach.

Demnächst wurde die Leine in Wasser getaucht, und wieder der Prüfung unterworfen wobei sich eine Verkürzung ihrer Länge um mehr als 3% ergab. Es wurde deshalb eine Leine aus feinem Stahldraht beschafft, die im Gebrauch geringer Abnutzung aus-

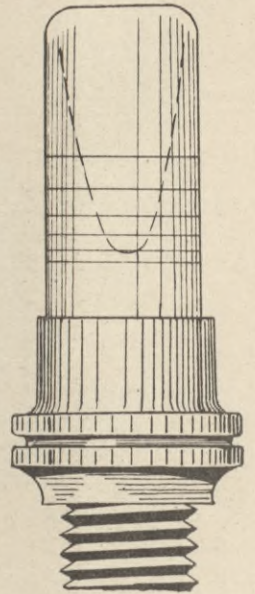


Fig. 3.



gesetzt, und für sämtliche Versuche ausreichend war. Die hiernach ermittelten Fahrge-  
 schwindigkeiten stimmten sehr gut mit den nach dem Chronographen gemessenen überein.

2. Das Dynamometer. Zum Messen der Zugkraft im Schlepptau diente ein von  
 der Firma Richard Frères in Paris bezogenes hydraulisches Dynamometer, das in seiner

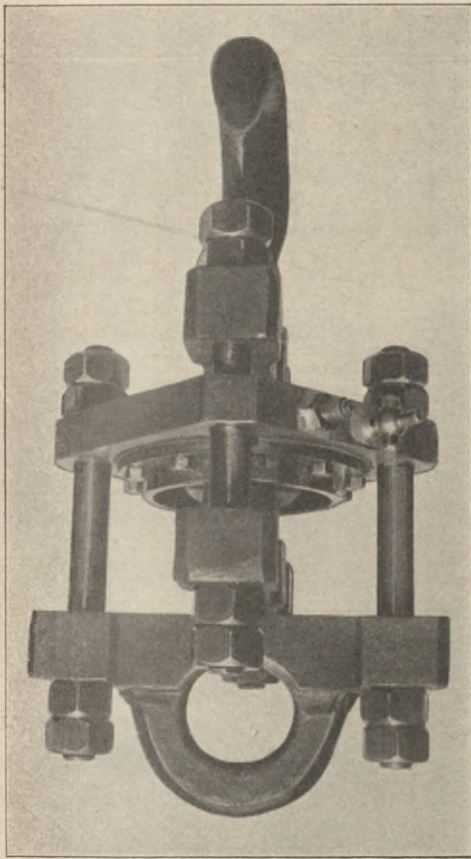


Fig. 4.

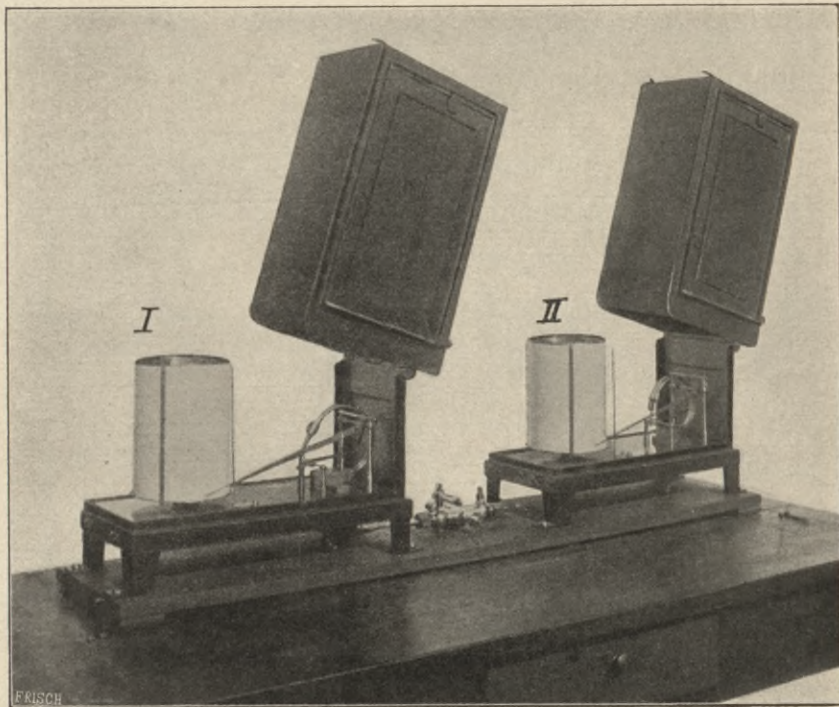


Fig. 6.

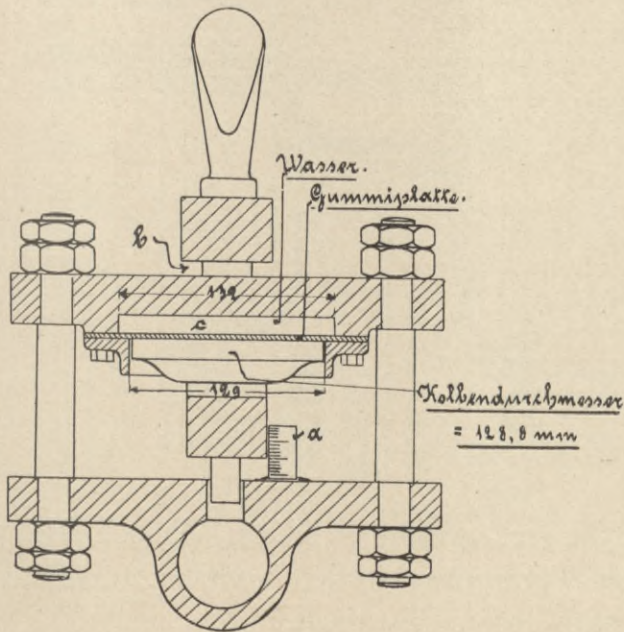


Fig. 5.

Construction dem von de Mas verwendeten  
 gleich, jedoch für 2000 kg höhere Zugkraft,  
 im Ganzen für 10000 kg angefertigt ist.

Die Stärke übersteigt zwar die für ge-  
 wöhnlich zum Ziehen der verwendeten  
 Schiffe nothwendige Kraft; es war jedoch  
 vorauszusehen, dass auch Stöße von dem  
 Apparat aufzunehmen sein würden, welche  
 ihn bedeutend höher beanspruchen konnten.  
 Die Erfahrung bestätigte die Richtigkeit  
 dieser Voraussicht.

Die *Textfiguren* 4 und 5 zeigen die  
 Bauart des Dynamometers. Der Haken



dient zum Befestigen des Schlepptaues und das Auge, wie *Taf. 77 Fig. 5* zeigt, zur Aufnahme eines starken Drahttaues, das mit dem Schiff durch Belegen der beiden Enden um die Poller D. D. verbunden ist. Das Dynamometer C ruht auf einem Bohlenstück, von dem es durch den Zug im Schlepptau abgehoben wird.

Die Messdose (*Fig. 5*) aus einer Höhlung von 132 mm Durchmesser im oberen Querstücke gebildet, ist mittels einer Gummiplatte, die durch Spannring festgehalten wird, abgeschlossen. Der Spannring dient zugleich zur Führung des Messkolbens von 128,8 mm Durchmesser, der mit 0,1 mm Spiel im Spannring geht. Die mit Wasser gefüllte Messdose steht durch ein langes dünnes Kupferrohr mit den beiden selbstschreibenden Manometern, No. I (mit kleinem Ausschlag) und No. II (mit grossem Ausschlag) in Verbindung. Die Manometer, in *Textfigur 6* dargestellt, stehen auf dem Tisch E (*Taf. 77 Fig. 5*); ihre Verbindung mit dem Kupferrohr kann durch Hähne einzeln oder für beide zugleich angeschlossen oder abgesperrt werden.

Die *Textfiguren 7* und *8* zeigen die von beiden Manometern aufgenommenen Zugkräfte von Versuchen mit „Goedhart schleppt Lloydkahn“ am 18. August. Der Tiefgang des Kahnens betrug dabei 2 m, und es sollte eine Geschwindigkeit von 2 m/sec. erreicht werden. Die zur Verfügung stehende Kraft des Schleppdampfers genügte indess nur für 1,85 m/sec., welche bei dem Versuch No. 3 erreicht wurde. Die zur Aufnahme benutzten Vordrucke wurden von der genannten Firma mit geliefert und sind, wie ersichtlich, sehr genau eingetheilt.

Vor Beginn der Versuche wurde das Dynamometer in Lingen geprüft, indem es

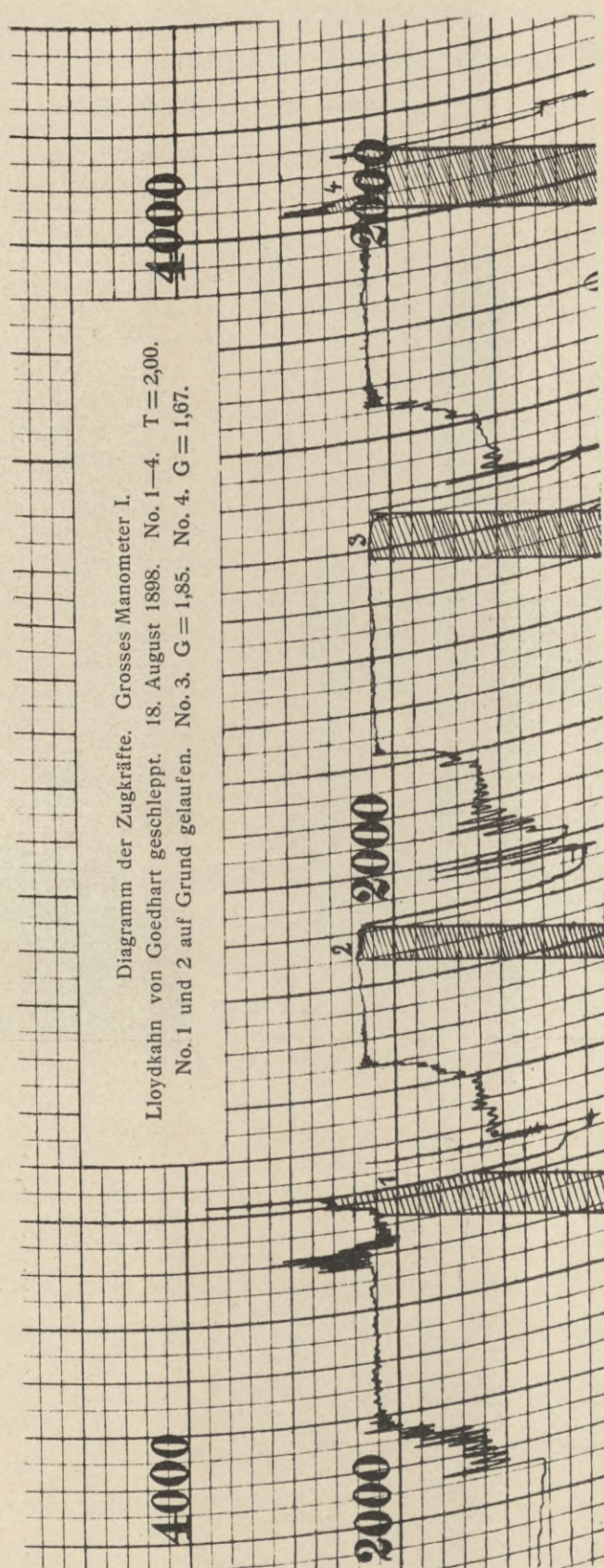


Fig. 7.



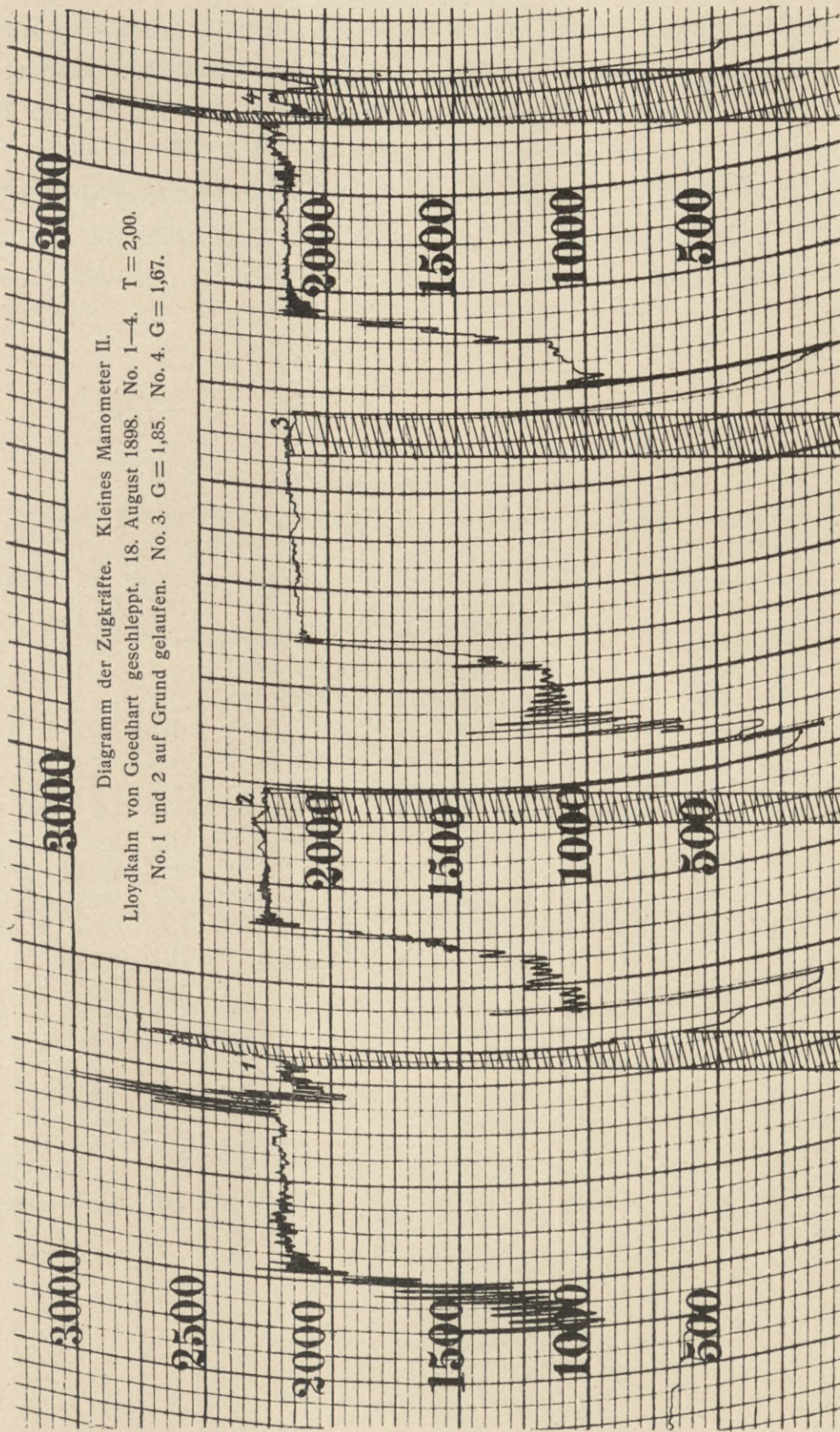


Fig. 8.



mit dem Auge an einem starken Balken aufgehängt und der nach unten hängende Haken durch Taue mit einer horizontal hängenden Plattform verbunden wurde. Die beiden Manometer standen in einem verschliessbaren Raum und waren mittels des langen dünnen spiralförmigen Kupferrohres mit dem Dynamometer verbunden. Alsdann belastete man die Plattform mit genau abgewogenen Sandsäcken von 100 zu 100 kg, in vereinzelt Fällen auch mit 200 kg.

Die grösste Belastung betrug 3000 kg und nachdem diese erreicht war, wurde die Last wieder in Gewichten von 100 kg abgenommen, und dabei ebenso, wie bei der Belastung, an beiden Manometern das dort angezeigte Gewicht des verbliebenen Restes abgelesen.

### Grosses Manometer I.

Be- lastung steigend	Abgelesene Gewichte				Abweichung			Be- lastung fallend	Abgelesene Gewichte				Abweichung				
	max.	min.	Mittel		max.	min.	Mittel		max.	min.	Mittel		max.	min.	Mittel		
0	20			115	120	+ 120	+ 20	+ 85	0	40			120	120	+ 120	+ 40	+ 93,3
100				210	190	+ 110	+ 90	+ 100	100				190	170	+ 90	+ 70	+ 80
200	220			310	270	+ 110	+ 20	+ 66,7	200	260			280	270	+ 80	+ 60	+ 70
300	310			410	350	+ 110	+ 10	+ 56,7	300	320			410	360	+ 110	+ 20	+ 63,3
400	400			510	450	+ 110	+ 0	+ 53,3	400	420			510	460	+ 110	+ 20	+ 63,3
500	510			610	550	+ 110	+ 10	+ 56,7	500	520			610	560	+ 110	+ 20	+ 63,3
600	610			710	660	+ 110	+ 10	+ 60	600	620			700	670	+ 100	+ 20	+ 63,3
700	710			810	750	+ 110	+ 10	+ 56,7	700	720			810	760	+ 110	+ 20	+ 63,3
800	810			900	850	+ 100	+ 10	+ 53,3	800	820			910	860	+ 110	+ 20	+ 63,3
900	920			1000	950	+ 100	+ 20	+ 56,7	900	920			1010	950	+ 110	+ 20	+ 60
1000	1020			1100	1050	+ 100	+ 20	+ 56,7	1000	1020			1110	1060	+ 110	+ 20	+ 63,3
1100	1120			1200	1150	+ 100	+ 20	+ 56,7	1100	1120			1280	1150	+ 180	+ 20	+ 83,3
1200	1220	1215	1205	1290	1250	+ 90	+ 5	+ 36	1200	1240	1235	1235	1310	1250	+ 110	+ 35	+ 54
1300	1320	1335	1305	1390	1360	+ 90	+ 5	+ 42	1300	1320	1345	1325	1410	1360	+ 110	+ 20	+ 52
1400		1415	1400	1490	1450	+ 90	0	+ 38,8	1400		1455	1425	1520	1460	+ 120	+ 25	+ 65
1500		1515	1500	1590	1550	+ 90	0	+ 38,8	1500		1555	1525	1610	1550	+ 110	+ 25	+ 60
1600		1615		1690	1650	+ 90	+ 15	+ 55	1600		1655	1625	1710	1650	+ 110	+ 25	+ 60
1700		1725	1700	1780	1740	+ 80	0	+ 36,3	1700		1755	1735	1820	1760	+ 120	+ 35	+ 67,5
1800		1815		1880	1860	+ 80	+ 15	+ 51,6	1800		1855	1825	1930	1860	+ 130	+ 25	+ 67,5
1900		1925	1905	1980	1950	+ 80	+ 5	+ 40	1900		1945	1925	1990	1950	+ 90	+ 25	+ 52
2000		2015		2070	2050	+ 70	+ 15	+ 45	2000		2055	2065	2070	2050	+ 70	+ 55	+ 60
2100		2115	2115			+ 15	+ 15	+ 15	2100		2155	2165			+ 65	+ 55	+ 60
2200		2215				+ 15	+ 15	+ 15	2200		2255	2265			+ 65	+ 55	+ 60
2300		2305	2305			+ 5	+ 5	+ 5	2300		2365	2365			+ 65	+ 65	+ 65
2400		2435				+ 35	+ 35	+ 35	2400		2465	2475			+ 75	+ 65	+ 70
2500		2545	2505			+ 45	+ 5	+ 25	2500		2565	2575			+ 75	+ 65	+ 70
2600		2635				+ 35	+ 35	+ 35	2600		2665	2675			+ 75	+ 65	+ 70
2700		2745	2705			+ 45	+ 5	+ 25	2700		2755	2775			+ 75	+ 55	+ 65
2800		2845				+ 45	+ 45	+ 45	2800		2855	2875			+ 75	+ 55	+ 65
2900		2955	2890			+ 55	- 10	+ 22,5	2900		2945				+ 45	+ 45	+ 45
3000		3055	3000			+ 55	0	+ 27,5	3000		3055	3065			+ 65	+ 55	+ 60



Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen niedergeschrieben, und daneben die grössten und kleinsten Werthe sowie die Mittel aus allen Werthen eingetragen. Letztere wurden zur Berichtigung der bei den Versuchen von dem Dynamometer angegebenen Zugkräfte verwendet. Die daraus entstandenen Zahlen sind mittlere Zugkräfte, welche bei den einzelnen Versuchen zur Ueberwindung des Widerstandes im Schlepptau wirken mussten, um die Schiffe mit der gewünschten Geschwindigkeit fortzubewegen. Um über die Richtigkeit der Angaben des Dynamometers keinen Zweifel zu lassen, wurde es von der Königl. mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg im Oktober 1899 nochmals geprüft und dabei wie folgt verfahren:

### Kleines Manometer II.

Be- lastung steigend	Abgelesene Gewichte						Abweichung			Be- lastung fallend	Abgelesene Gewichte						Abweichung		
							max.	min.	Mittel								max.	min.	Mittel
0	40				70	70	+70	+40	+60	0	50				70	70	+70	+50	+63,3
100					155	150	+55	+50	+52,5	100	135				150	150	+50	+35	+45
200	225				235	230	+35	+25	+30	200	240				240	240	+40	+40	+40
300	320				335	345	+45	+20	+33,3	300	325				360	350	+60	+25	+45
400	415				430	435	+35	+15	+26,7	400	430				460	450	+60	+30	+46,7
500	520				535	530	+35	+20	+28,3	500	530				555	550	+55	+30	+45
600	620				635	630	+35	+20	+28,3	600	630				665	650	+65	+30	+48,3
700	725				740	735	+40	+35	+33,3	700	730				770	750	+70	+30	+50
800	825				835	835	+35	+25	+31,7	800	835				865	850	+65	+35	+50
900	925				940	935	+40	+25	+33,3	900	930				975	950	+75	+30	+51,7
1000	1025				1035	1035	+35	+25	+31,7	1000	1030				1080	1045	+80	+30	+51,7
1100	1130				1135	1140	+40	+30	+35	1100	1135				1165	1150	+65	+35	+50
1200	1230	1235	1235	1235	1220	1235	+35	+20	+31,7	1200	1250	1245	1250	1270	1250	+70	+45	+53	
1300	1335	1335	1330	1340	1325	1330	+40	+25	+32,5	1300		1350	1345	1375	1350	+75	+45	+55	
1400		1435	1425	1430	1435	1430	+35	+25	+31,0	1400		1460	1445	1500	1445	+100	+45	+62,5	
1500		1525	1525	1525	1535	1530	+35	+25	+28	1500		1555	1540	1565	1545	+65	+40	+51,3	
1600		1620	1625	1625	1630	1630	+30	+20	+26	1600		1660	1640	1670	1630	+70	+30	+50	
1700		1720	1725	1720	1720	1725	+25	+20	+22	1700		1750	1750	1770	1740	+70	+40	+52,5	
1800		1815	1820		1810	1830	+30	+10	+18,8	1800		1845	1835	1875	1840	+75	+35	+48,8	
1900		1920	1920	1920	1925	1925	+25	+20	+22	1900		1940	1925	1950	1935	+50	+25	+37,5	
2000		2015	2015		2010	2025	+25	+10	+16,1	2000		2045	2020	2050		+50	+20	+38,3	
2100		2115	2115	2135			+35	+15	+21,7	2100		2145	2120	2150		+50	+20	+38,3	
2200		2215	2210				+15	+10	+12,5	2200		2240		2250		+50	+40	+45	
2300		2295		2305			+5	-5	0	2300		2340		2350		+50	+40	+45	
2400		2415					+15	+15	+15	2400		2445		2445		+45	+45	+45	
2500		2535		2495			+35	-5	+15	2500		2540		2540		+40	+40	+40	
2600		2610					+10	+10	+10	2600		2630		2640		+40	+30	+35	
2700		2705		2695			+5	-5	0	2700		2725		2730		+30	+25	+27,5	
2800		2805					+5	+5	+5	2800		2815		2830		+30	+15	+22,5	
2900		2905		2870			+5	-30	-12,5	2900		2905		2925		+25	+5	+15	
3000		2990		2975			-10	-25	-17,5	3000		2990		3020		+20	-10	+5	



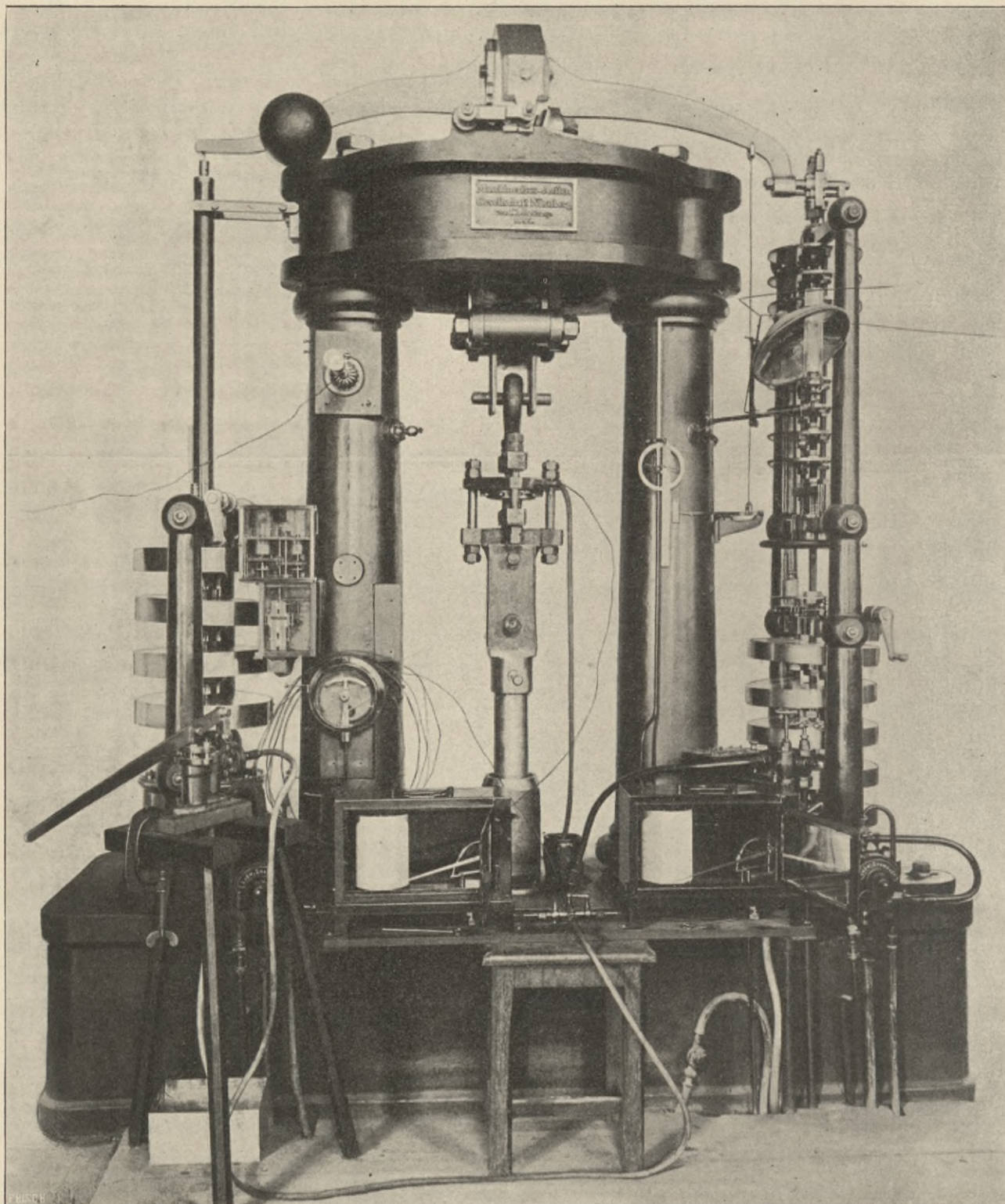


Fig. 9.

Das Dynamometer, wurde wie *Textfigur 9* im Gesamtaufbau zeigt, in eine 50 Ton Probirmaschine (Bauart Martens) eingehängt. Um die Anfangseinstellung des Kolbens ablesen zu können war die Dose mit einem angekitteten Papiermassstab a (*Textfig. 5*) versehen. Für die Prüfung wurden 3 Einstellungen benutzt, von denen die beiden Endstellungen so bemessen wurden, dass während des Versuches noch freies Spiel



des Kolbens stattfand, der Kolben sich aber nahezu an dem einen oder dem anderen Ende seines Spiels befand. Eine andere Einstellung erfolgte mit der Mittelstellung des Kolbens. Auf diese Weise kam also die Gummiplatte in verschiedenen Lagen zur Wirkung.

Vorversuche hatten ergeben, dass die Anzeige beider Manometer sowohl bei der Belastung, als auch bei der Entlastung der Dose fast ganz reibungsfrei erfolgt, denn die Zeigereinstellung blieb genau die gleiche, auch wenn die Apparate so heftig erschüttert wurden, dass die Zeiger dicke Linien schrieben. Dabei zeigte sich, dass die Endeinstellung des Zeigers auf eine Anzeige mindestens ebenso schnell erfolgte, als es möglich war, die Probirmaschine auf die Last zum Einspielen zu bringen. Bei der Entlastung dagegen dauerte es geraume Zeit, mindestens einige Minuten, bevor die Zeiger wage-rechte Linien schrieben, d. h. bevor die Endeinstellung erreicht war. Auf diesen Uebelstand wird später einzugehen sein. Die Versuche wurden in je fünf Reihen unter Belastung mit Stufen von 250 kg für die drei angegebenen Kolbenstellungen durchgeführt, wobei jede Stufe etwa drei Minuten einspielte. In gleicher Weise wurden fünf Versuche unter Entlastung mit der mittleren Kolbenstellung ausgeführt; nur wurde die Maschine hierbei mindestens drei Minuten im Einspielen erhalten.

Nach diesen Versuchen wurden die Kräfte-massstäbe für beide Manometer gefunden. (*Beilage I Fig. 2*). Die Werthe der Massstäbe für die Belastung sind ausgezogen, für die Entlastung gestrichelt. Die Linien für die Manometer I und II fallen nahezu zusammen.

In der *Beilage I Fig. 3* sind die Abweichungen  $\Delta P$  von der Sollangabe der  $P$  (Belastung der Dose in kg.) für die Belastungs- und Entlastungsreihen schwarz und roth eingetragen. Durch den von Null ausstrahlenden Massstab sind die Fehler in Procenten von der Sollangabe ausgedrückt; sie bewegen sich innerhalb des Feldes von + 6 % und — 1,5 %.

Bei den Entlastungsreihen fiel die Anzeige des Manometers innerhalb drei Minuten. Bei den verschiedenen Laststufen sanken dadurch die Fehlerbeträge auf die durch die feinen rothen Linien dargestellten Werthe; der Zeiger hatte aber nach drei Minuten seine Endeinstellung noch nicht erreicht.

Die richtige Anzeige tritt also bei den Belastungsreihen sofort mit dem Einspielen der Belastung ein, während sie bei den Entlastungsreihen erst nach mehr als drei Minuten erreicht wird. Will man die Apparate nur im Sinne der Belastung benutzen, so kann man den procentischen Fehler durch einen Kunstgriff wesentlich verkleinern, indem man die Schreibfedern bei der Belastung Null entsprechend höher einstellt. Dieser Vorgang ist in *Beilage I Fig. 3* durch die feinen schwarzen Linien angedeutet, bei denen die Nulleinstellung für Manometer I auf + 42 kg und für Manometer II auf + 33 kg gewählt wurde. Dann verlaufen die Fehlerlinien wie man sieht für die Linie

I von 300 bis 3000 kg und

II von 200 bis 3000 kg



innerhalb des Fehlergebietes von  $+ 2$  bis  $- 2$  ‰, und nur bei geringen Belastungen von Null bis zu den oben angegebenen Grenzen werden sie grösser als  $+ 2$  ‰.

Um einen unmittelbaren Vergleich zwischen den Ergebnissen der früheren Prüfungen der Messvorrichtung durch unmittelbar angehängte Gewichte und den jetzt von der Versuchsanstalt gefundenen zu ermöglichen, sind die früheren Ergebnisse nach gleichen Gesichtspunkten bearbeitet. Die angegebenen Tabellen sind wieder entsprechend umgearbeitet und die noch verbleibenden Fehler der auf Null zurückgeführten Beobachtungen  $\Delta P$  zur Auftragung von *Beilage I Fig. 4* benutzt. In dieser Figur geben die dicken Linien die aus der früheren Prüfung bestimmten Fehler, während die dünnen Linien die Ergebnisse der jetzigen Prüfung darstellen. Die schwarzen Linien geben wie in *Beilage I Fig. 3*, die Belastungsreihen, die ausgezogenen beziehen sich wieder auf Manometer I (sogenanntes grosses Manometer) und die gestrichelten auf Manometer II (sogenanntes kleines Manometer). Die früheren Prüfungen haben hiernach geringere Fehler ergeben, als die neuen. Bei den Belastungsreihen ist der Gang der Fehlerlinien bei beiden Prüfungen gleicher Art. Die Unterschiede zwischen den beiden Entlastungsreihen können durch den Umstand bedingt sein, dass bei den neuen Versuchen die Lasten schnell abgenommen werden konnten und schon drei Minuten nach dem Einspielen die Ablesung erfolgte, während bei den früheren Prüfungen die Lasten nur langsam entfernt wurden, die Ablesungen also erst nach langer Zeit erfolgt sein dürften. Die Unterschiede in den alten und neuen Belastungsreihen können durch die Auswechslung der Gummischeibe in der Messdose bedingt sein.

Hieraus ergibt sich, dass die aus den Versuchen erhaltenen Zugkräfte ziemlich genau sein müssen, insbesondere die bei wachsender Belastung. Viele der Diagramme des Dynamometers zeigen für die Fahrt der Schiffe in der Versuchsstrecke horizontale Linien, also keinerlei Veränderung der Zugkraft während der Fahrt in der Beobachtungsstrecke, andere zeigen einen Theil wachsende, den anderen entweder gleich bleibende oder fallende Zugkraft, woraus die richtige sich genügend genau ergibt, und der bedeutend kleinere Theil der nur fallenden Zugkräfte nimmt verhältnissmässig wenig ab, so dass auch diese keine bedeutenden Fehler enthalten können.

3. Die photographischen Apparate zur Aufnahme der Pendel und Pegel etc. sind nach dem Lageplan (*Tafel 48*) am linken Kanalufer bei 1, 2 und 3 aufgestellt. Ihre Höhenlage ermöglichte, wie aus der Zeichnung zu ersehen, die Aufnahme des ganzen in der Strecke liegenden Schiffs mit den an B. B. angebrachten Pegeln, sowie des rechten Kanalufer mit Allem, was dort an Messapparaten und Tafeln aufgestellt war. Für die photographischen Aufnahmen war die Strecke besonders günstig, weil schon gegen 10 Uhr Vormittags die sämtlichen aufzunehmenden Objecte direct beleuchtet wurden.

Die Apparate wurden von der Firma Ottomar Anschütz in Berlin geliefert. Die drei Cameras sind nach dem Katalog Modell C. 1 für die Plattengrösse  $13 \times 18$  cm mit



drei aufklappbaren Doppelkassetten ausgeführt. Die Objective sind Goerz' Doppel-Anastigmaten von genau gleicher Brennweite, mit Rouleaux - Momentverschlüssen. Die Verschlüsse waren durch elektrische Leitungen unter sich und mit einer Batterie verbunden und wurden vom Photographen bei Camera 4 bethätigt, wodurch eine gleichzeitige Aufnahme der sämtlichen Objecte erzielt wurde.

Die Camera 4, welche zur Feststellung der Einsenkungsmaasse diente, stand an der auf dem Lageplan *Tafel 48* mit 4 bezeichneten Stelle. Ihre Construction ist in der Hauptsache dieselbe, wie die der vorgenannten 3, nur der Momentverschluss besteht aus kleinen Metallplatten, welche pneumatisch mittels Handdruck bethätigt werden. Camera 4 hat eine Einrichtung zur Herstellung von zwei getheilten Aufnahmen, so dass beim Passiren des Vorschiffes dessen Senkung und, wenn das Hinterschiff in der Linie der betreffenden Horizontalen an der rechten Uferseite sich befand, auch die Senkung hinten photographisch auf derselben Momentplatte festgelegt werden konnte.

Die Einrichtung wurde zur Ersparung von Momentplatten getroffen; später jedoch für Vor- und Hinterschiff je eine Platte verwendet. Dadurch wurden für die dort stattfindende Wasserbewegung sehr nützliche Aufschlüsse gewonnen.

Die Momentplatten und das Celloidin-Papier zur Aufnahme der Photographieen und zur Herstellung der Positiven nebst allen sonst dazu nöthigen Apparaten und Materialien wurden von Anschütz geliefert. Ihre Qualität befriedigte vollkommen.

Die eigentliche Prüfung der Camera's konnte erst unmittelbar vor den Schleppversuchen angestellt werden. Sie ergab ein durchaus genügendes Resultat. Es zeigte sich dabei nur, dass die Eintheilung der Pegel durch zu starke Belichtung vielfach undeutlich wurde. Vor Abnahme der Apparate durch die Kommission wurden die Cameras 1, 2, 3, deren Objective, der Bestellung gemäss, genau gleiche Aufnahmen machen sollten, hierauf geprüft und dieser Bestimmung entsprechend gefunden, was durch die sämtlichen Aufnahmen, welche damit gemacht, bestätigt wurde. Es blieb aber noch die gleichzeitige und gleich lange Belichtung durch die Momentverschlüsse zu prüfen übrig, welche in dem Atelier von O. Anschütz durch Aufnahme eines in Schwingungen gesetzten Pendels mittels der drei Cameras ausgeführt wurde.

*Tafel 47 Fig. 14* zeigt das Ergebniss dieser Prüfung. Das vor einem grossen Fenster aus Spiegelglas aufgehängte Pendel wurde in Schwingungen versetzt und mittels der elektrischen Moment-Verschluss-Auslösung, von allen drei Cameras gleichzeitig aufgenommen, wie sich aus der Gleichheit der Winkel ergibt, welche das Pendel auf jedem der drei Bilder mit der senkrechten Fensterseite bildet.

4. Die Pendel. Nach dem Lageplan der Versuchsstrecke, (*Tafel 48*,) sind an Gerüsten 13 mit L bezeichnete Pendel aufgehängt, welche in *Textfigur 10* und *11*



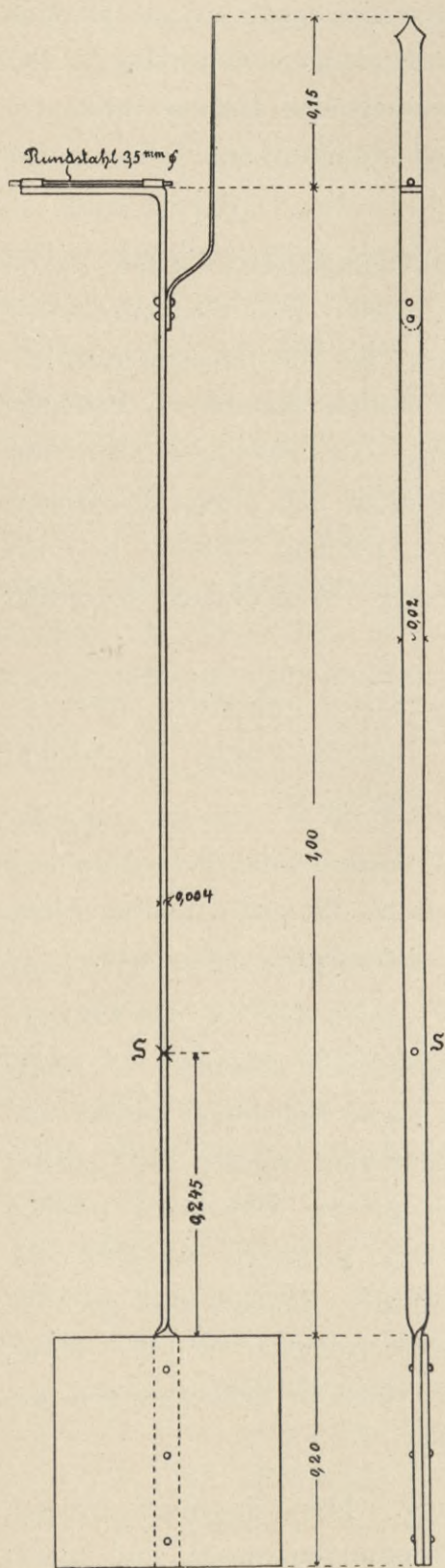


Fig. 10.

dargestellt sind. Die vertikale Stange *a*, die an ihrem Unterende eine quadratische Tafel trägt und ursprünglich schwarz war, musste nach den ersten Versuchen, weiss gemacht werden, um sie auf den Photographieen besser sichtbar zu machen. Der oben angebrachte Zeiger und der mit schwarzen Strichen eingetheilte Kreisbogen auf der weiss gestrichenen Tafel erschienen auf den Photographieen zu klein und nicht deutlich genug. Es mussten deshalb die Ausschlagwinkel der Pendel mittels eines Transporteurs gemessen werden. Wie aus *Textfigur 10* ersichtlich, sind die Pendel an Stahlwellen aufgehängt. Der Theil des Gerüstes, an dem sie hängen, kann senkrecht verschoben und dadurch die Eintauchung der Platte je nach Bedarf vermehrt oder vermindert werden. Die Lagerung der Stahlwelle gestattet nur eine Schwingung in der Längsrichtung der Beobachtungsstrecke.

Bei Beginn der Versuche waren die Pendel so aufgehängt, dass die Mitte der Blechplatte, auf welche die Strömung wirken sollte (*Textfig. 10*), 19 cm unter dem Normalwasserstand des Kanals lag. Es zeigte sich jedoch auf den Photographieen, dass diese Eintauchung zu gering war, und dass die Platten derjenigen Pendel, bei denen die Senkung des Wasserspiegels besonders gross geworden war, zum Theil aus dem Wasser hervorragten. Die Pendel wurden deshalb bis auf 29 cm gesenkt.

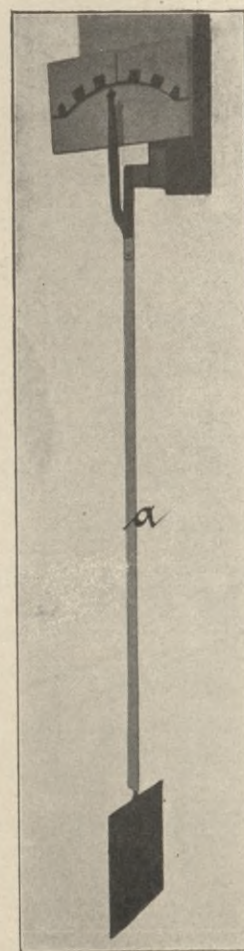


Fig. 11.

Später wurden sie je nach der zu erwartenden Stromgeschwindigkeit niedriger oder höher, und zuletzt wieder auf 29 cm gestellt. Nach Schluss der Versuche ergab sich, bei Zusammenstellung der Resultate, dass die Pendel nur die kleinen Stromgeschwindigkeiten,



und zwar diejenigen annähernd richtig angeben konnten, bei denen die Platten mit ihrer Oberkante noch unter dem Wasserspiegel lagen, und dass somit nur diese aus den Pendellagen herzuleiten seien, während die Stromgeschwindigkeiten an der Oberfläche in der Nähe der Ufer nach den Pegelständen durch Rechnung bestimmt werden mussten.

Von den Pendeln war nur eine annähernd richtige Anzeige der Stromgeschwindigkeit von vorne herein erwartet worden. Sie wurden hauptsächlich gewählt, weil sie sich gut photographiren liessen, was mit anderen Geschwindigkeitsmesswerkzeugen schwierig, oder gar unmöglich erschien. Auch die Feststellung der Art, wie ihre Angaben zu ermitteln seien, gab zu mancherlei Bedenken Anlass. Als am einfachsten und doch genügend zuverlässig wurde folgendes Verfahren erachtet und ausgeführt.

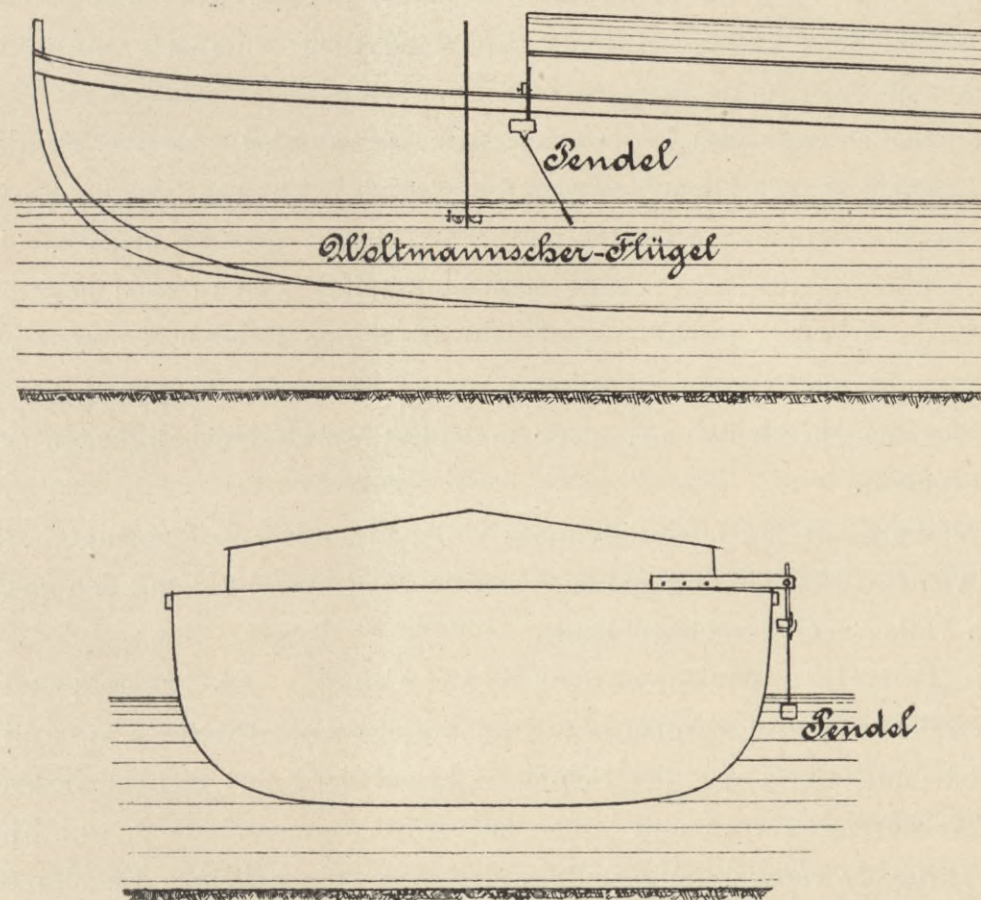


Fig. 12.

Auf dem Vorderende des mit eigener Dampfmaschine versehenen Schleppkahns Dortmund wurde an B. B. eine Vorrichtung gemacht, an welcher eines der Pendel in verschiedenen Höhen, ähnlich derjenigen in der Versuchsstrecke, aufgehängt wurde. (Textfigur 12 und Taf. 47 Fig. 2—5.) Die ersten 8 Fahrten behufs Pendelprüfung wurden mit 0,19 m Tauchtiefe der Pendelplattenmitte ausgeführt und demnächst je 8 Fahrten mit 0,03 bis 0,04 m Vergrößerung dieser Tauchtiefe, bis sie auf 0,45 m gestiegen war. Im Ganzen fanden 8 Veränderungen der Tauchtiefe, und somit 64 Pendelproben statt.



Bei jeder dieser 8 verschiedenen Tauchtiefen der Pendelplatte wurden 2 Fahrten in der Weise ausgeführt, dass in der Versuchsstrecke von Station 78 ab, das Schiff auf der Mitte des Kanales nach der Beobachtungsstrecke abfuhr und so schnell wie möglich seine grösste Geschwindigkeit annahm, dann aber die Maschine stoppte. In einiger Entfernung vor der Mitte der Pendelplatte wurde der Woltmann'sche Flügel so gehalten, dass seine Axe parallel der Richtung des Schiffes lag und jedesmal kurz vor dem Passiren einer der 4 an den Stationen 82, 83, 84 und 85 aufgestellten Camera's während Verlaufs von 30 Sekunden in Thätigkeit gesetzt. Während dieser Zeit erfolgte die photographische Aufnahme. Die grösste Stromgeschwindigkeit ergab sich bei Station 82, sie nahm bei der in Ruhe befindlichen Maschine fortwährend ab und zwar von 1,97 bis 0,87, bei 83 von 1,48 bis 0,73, bei Station 84 von 0,92 bis 0,31, bei 85 von 0,56 bis 0. Die Winkel, welche die Pendellagen der 64 gewonnenen Resultate mit der Horizontalen bildeten, sind auf den Photographieen gemessen und zusammengestellt; hiernach wurde die Stromgeschwindigkeit für die Schräglage jedes Pendels ermittelt.

Es ist einleuchtend, dass die Aenderungen der Winkel, die das Pendel mit der Horizontalen bildet, immer kleiner werden müssen, je mehr die Oberkante der Pendelplatte über die Wasserlinie hervortritt, und es giebt eine gewisse Grenze, über welche hinaus eine Aenderung überhaupt nicht mehr stattfindet. Die grossen negativen Stromgeschwindigkeiten konnten deshalb nicht mehr nach den Pendeln ermittelt werden, sie mussten vielmehr durch Rechnung bestimmt werden, während die neben, vor und hinter dem Schiff entstehenden kleinen negativen und positiven Geschwindigkeiten sich aus der Pendellage ergaben.

Die Richtung der am Ufer durch das vorbeifahrende Schiff erzeugten Strömungen wird überall von den Pendeln angegeben, während die Stromstärke aus den an den Pegeln abzulesenden Höhen sich errechnen lässt.

5. Die Pegel zum Messen der Einsenkung. Die Camera 4 und die wagerechten Linien der auf dem Lageplan (*Tafel 48*) angegebenen Bretter a, a, wurden bereits als zur Feststellung der Lage der Schiffe während der Fahrt dienend bezeichnet. Zu demselben Zwecke waren vorn und hinten auf dem Versuchsschiffe je eine Einsenkungslatte (*Taf. 77 Fig. 5*) vertical aufgestellt, welche ein 60 cm langes Pegelbrett trug, das nach der Höhe verstellbar war und in der Ruhelage des Schiffes auf 0 eingestellt wurde. Zu dem Zweck wurde das Schiff mit dem vorderen und später mit dem hinteren Pegel e in den Bereich der durch Camera 4 und der Horizontalen a gebildeten Ebene gelegt. Die 0 Linien waren anfangs die Mitten der Bretter, später ihre Unterkanten. Mit Camera 4 wurden die 0 0 Aufnahmen gemacht. Aus ihnen erkennt man, ob die Einstellung genau ausgeführt wurde; etwaige Ungenauigkeiten liessen sich feststellen und berichtigen. Dasselbe gilt von den zusammengestellten 0 0 Photographieen der Versuchsschiffe mittels der drei Camera's, nach denen etwaige Fehler der Tiefgangs-Pegel berichtet wurden.

6. Die Landpegel sind bereits auf Seite 5 erwähnt worden.



7. Die Pegel an den Schiffsseiten. Um auf den Photographieen der Versuchsschiffe deren Wasserlinien in der Ruhelage und während der Fahrt feststellen zu können, waren, wie die Lichtdruck-Tafeln zeigen, an der schwarz gestrichenen Aussenhaut, rund um die Schiffe herumlaufend, zwei horizontale Linien in 2 cm Breite, mittels weisser Oelfarbe angebracht, deren Mitten in einer Höhe von 2 und 2,3 m über dem niedrigsten Punkt des Schiffsbodens und mit diesem parallel lagen. Ebenfalls in Oelfarbe ausgeführt waren die Pegel von 1 m Länge, welche von der Mitte der obersten weissen Linie senkrecht nach unten geführt waren. Ihre Entfernung von einander, soweit die Schiffsseiten nahezu senkrechte Ebenen bildeten, betrug 5 m, vorn und hinten 2 m. (*Taf. 77*) Diese Pegel gestatten die Darstellung der Wasserlinie für die meisten Versuchsfahrten, ihre Zahl hätte aber wesentlich grösser sein müssen, um die an den Schiffsseiten entlanglaufende Wellenbewegung genauer feststellen zu können.

8. Die Chronographen. Es wurden zwei einfache Taschen-Chronographen beschafft, welche mit grossen springenden Sekundenzeigern versehen waren, die ein- und ausgerückt, sowie wieder auf 0 gestellt werden konnten.

9. Ein Woltmannscher Flügel diente zur Feststellung der Stromgeschwindigkeit, welche durch die Pendel angezeigt wurde.

10. Die Indicatoren, für die Maschinen des Goedhart und des Dortmund wurden von Schäfer & Budenberg in Buckau bei Magdeburg geliefert.

11. Ein Tourenzähler für die Maschine des Goedhart war vorhanden, doch bot dieser dem Maschinisten keinen Anhalt für das Innehalten gleichmässiger Fahrgeschwindigkeiten, besonders wenn diese gering waren. Diese Schwierigkeit führte zu der Aufstellung eines Gyrometers im Maschinenraum, an dem der Maschinist ohne von der Beaufsichtigung der Maschine und des Kessels abgelenkt zu werden, sofort erkennen konnte, ob die verlangte Tourenzahl innegehalten wurde.

12. Anemometer. Auf dem rechtsseitigen Kanalufer war ein Anemometer von Fuess in Steglitz aufgestellt, dessen Registrir-Apparat sich in einem am linken Ufer stehenden Wellblechhäuschen, das auch zur Aufnahme eines Telephons und einer Dunkelkammer diente, befand. Nach den Aufzeichnungen des Registrirapparats war die Einwirkung des Windes während der Beobachtungen verschwindend gering. Gegen östliche und westliche Winde lag die Kanalstrecke, infolge der tiefen Lage des Wasserspiegels im Einschnitt und zwischen hohen Baumbeständen, völlig geschützt.



## II.

## Die Versuchsschiffe.

Die Lastschiffe. Für die Versuchsfahrten standen zwei neue Kanalschiffe Emden und Dortmund zur Verfügung. Ihre Hauptabmessungen betragen:

Grösste Länge von Vorderkante Vorsteven, bis Hinterseite des Schutzholzes am Heck . . . . .	66,95 m
Grösste Breite über die Schutzhölzer . . . . .	8,20 „
Grösste Breite über die Aussenhaut . . . . .	8,10 „
Höhe von Unterkante Boden bis zum Schandeck . . . . .	2,40 „

Ferner betragen bei einem Tiefgang von:	Länge in der W. L. m	Grösse des Hauptspantes qm	Deplacement cbm	Benetzte Oberfläche qm	Deplacements-Coëfficient	Emden Ladefähigkeit t
1,50 m	64,50	12,10	690	612	0,880	555
1,75 „	65,10	14,10	815	646	0,883	676
2,00 „	65,60	16,13	944	678	0,887	805
2,25 „	66,00	18,20	1070	716	0,889	935

Das Schiff Dortmund ist mit Dampfmaschine und Schraube ausgestattet; seine Ladefähigkeit einschl. Kohlenvorrath für die Maschine erhält man nach Abzug des Maschinengewichtes mit 15,15 t von der in der Tabelle für Emden angegebenen Zahl.

Beide Schiffe, von gleicher Form und Grösse (*Taf. 76 Fig. 1*) haben ein prismatisches Mittelschiff von 31,9 m Länge. Vor- und Hinterschiff sind sehr völlig nach der sogenannten Löffelform gebaut. Unter dem Vordeck befindet sich der Mannschaftsraum sowie einige Vorrathsräume und unmittelbar dahinter der Laderaum, der bei Emden 56 m der Länge einnimmt und an beiden Enden durch wasserdichte Schotten begrenzt ist. 8 ebenfalls wasserdichte Schotten theilen den Raum in 9 Abtheilungen; die darüber befindliche Luke läuft von vorn bis hinten durch, an beiden Seiten einen schmalen Gang zwischen Vor- und Hinterschiff belassend. Hinter dem Laderaum liegt eine geräumige Kajüte für den Schiffer, sowie noch kleine Wohn- und Vorrathsräume.

Der Laderaum des Dortmund hat nur 50 m Länge und ist in acht Abtheilungen getheilt. Der Mannschaftsraum hat dieselbe Grösse, wie der auf Emden. Hinter dem Laderaum befindet sich der Maschinenraum von 5,6 m Länge. Seitlich vom Kessel sind die Kohlenräume eingebaut. Der ganze hinten verbleibende Raum ist zur Kajüte für Schiffer und Maschinisten eingerichtet.



Die Schiffe sind ganz aus Stahl gebaut, durch Spanten aus Winkelstahl, von denen viele als Rahmenspanten ausgebildet wurden, sowie durch Kielschweine im Boden verstärkt und haben ein aus geriffelten Stahlplatten gebildetes Deck, das von Winkelstahlbalken getragen wird. Die Luke ist von einem hohen Luksüll umgeben und in der ganzen Länge durch hölzerne Lukendeckel verschliessbar. Der ganze Bau ist leicht, doch genügend stark für die Fahrt auf Binnengewässern, für deren Befahrung die Schiffe gebaut wurden.

Auf dem Vordeck befindet sich ein Ankerspill, und bei Emden zwei Paar starke Poller aus Schmiedeeisen, bei Dortmund zwei Paar gusseiserne Poller. Hinten steht auf Deck eine starke Handsteuervorrichtung, mittels welcher der gusseiserne Ruderquadrant und durch diesen das Ruder selbst bewegt wird. Bei Emden ist das Ruder mit einem Vorschneider versehen, der bei Dortmund der Schraube wegen fortfallen musste. Die Ruder beider Schiffe bestehen aus einem starken schmiedeeisernen Schaft mit daran geschweisstem Rahmen und darauf genieteten Stahlplatten. Vorn und hinten sind leichte eiserne Davits zum Fischen der Anker aufgestellt und auf dem Hinterdeck, sowie an den Seiten neben der Luke noch 6 starke gusseiserne Poller nebst einer kleinen Winde zum Verholen etc.

Die Maschine des Dortmund, *Textfigur 13*, nach dem Compound-system ohne Condensation gebaut, besteht aus zwei, in einer Querebene dicht vor dem hintern Kajütenschott schrägliegenden Cylindern, deren Pleuelstangen an einem gemeinschaftlichen Kurbelzapfen arbeiten.

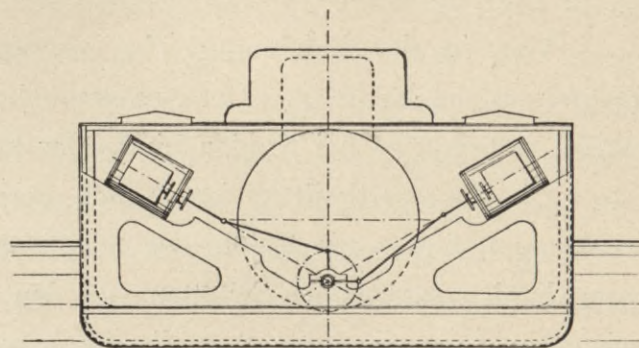


Fig 13.

Durchmesser des Hochdruckcylinders . . . . .	235 mm
„ „ Niederdruckcylinders . . . . .	420 „
Gemeinschaftlicher Hub . . . . .	300 „

Der zugehörige Dampfkessel ist von cylindrischer Form mit innerer Feuerung. Sein Durchmesser beträgt 1900 mm und seine Länge 2550 mm. Er hat eine Heizfläche von 39,48 qm, 1,28 qm Rostfläche und liefert Dampf von höchstens 10,7 Atm. Spannung.

Die vierflügelige Schraube ist rechtsgängig, hat 1250 mm Durchmesser und 1500 mm Steigung. Die Maschine macht für normalen Betrieb ca. 160 Umgänge bei einer Leistung von 60 I. P. S. Der Kohlenverbrauch stellt sich hierbei auf stündlich 100 kg. Die Maschine lieferte während der Versuche bei 198 Umdrehungen höchstens 105 I. P. S.



**Lloydkahn No. 85.** Der Norddeutsche Lloyd in Bremen besitzt seit längerer Zeit Schleppkähne für die Fahrt von Bremerhaven nach Hamburg, Emden u. s. w., welche anders geformt und in Bauart und Material stärker sind, als die vorherbeschriebenen. Wenn diese sich ihrer grossen Höhe halber für die Kanalfahrt auch weniger eignen, so wurde es doch für angezeigt gehalten, auch mit einem Lloydkahn Versuchsfahrten anzustellen, um den darauf gerichteten Anträgen zu entsprechen, und diese Schiffsform mit derjenigen von Emden und Dortmund vergleichen zu können.

Der Lloydkahn No. 85 hat folgende Hauptabmessungen:

Länge zwischen den Lothen . . . . .	55,0 m
Grösste Breite . . . . .	8,0 „
Höhe von Oberkante Kielplatte bis Seite Deck . . . . .	3,4 „

Es betragen bei einem Tiefgang von:	Länge in der W. L. m	Grösse des Hauptspants qm	Displacement cbm	Benetzte Oberfläche qm	Displacements-Coëfficient	Ladefähigkeit t
1,75 m	55,00	13,60	578	506	0,750	367
2,00 „	55,00	15,60	672	535	0,763	461
2,25 „	55,00	17,60	774	566	0,782	563

Wie in der Zeichnung *Taf. 76 Fig. 2* dargestellt, verlaufen die Wasserlinien schärfer als bei Emden. Der Schwerpunkt des Displacements liegt vor der Mitte der Länge, während er bei Emden hinter der Mitte liegt.

Die Raumvertheilung ist ähnlich derjenigen des Emden. Vorn liegt der Mannschaftsraum, hinten die Kajüte des Schiffsführers und dazwischen der 48 m lange Laderaum durch wasserdichte Schotten von den genannten Räumen getrennt. Es befinden sich darin 4 von einander ebenfalls durch wasserdichte Schotten getrennte Abtheilungen, in welche je zwei neben einander liegende Ladeluken zum Be- und Entladen hinführen.

Das zum Bau gewählte Material ist, wie vom Germanischen Lloyd für Küstenfahrt verlangt wird, stärker als bei Emden, auch passen die Verbindungen der einzelnen Theile unter sich besser für die See. Durchgehends wurde Stahl zum Bau verwendet. Das ebenfalls aus Stahl gefertigte Deck ist geriffelt. Ankerspill und Krahn, sowie die Steuervorrichtung und das Ruder sind entsprechend stark. Rund um das Deck herumlaufend, ist aus umklappbaren Stützen und Ketten eine Reling gebildet, welche die Mannschaft auf See vor Unfällen schützen soll. Zwei Masten, die zum Niederlegen eingerichtet sind, nebst Ladebäumen und Winden dienen zum Löschen und Laden, und starke gusseiserne Poller zum Festlegen der Schlepptrassen und Landfesten. Vom Vorsteven, bis auf ca. 5 m Abstand vom Hintersteven verläuft eine starke Scheuerleiste zwischen zwei Winkelstählen auf der Aussenhaut, parallel mit der Linie des Decks, die gegen Beschädigungen durch Anlaufen p.p. Schutz gewährt.



Der Schleppdampfer **Gebrüder Goedhardt II** war unter den angebotenen Schleppdampfern der am meisten geeignete. Ein stärkerer Schlepper von etwa 250 I. P. S. auf zwei Schrauben vertheilt, wäre freilich mehr geeignet gewesen, doch musste auf die Erlangung eines solchen verzichtet werden.

Die Hauptabmessungen des Schiffes sind:

Länge zwischen den Lothen . . . . .	20,75 m
Grösste Breite . . . . .	5,00 „
Seitenhöhe von Unterkante Boden bis Schandeckel	4,50 „
Tiefgang einschliesslich Kohlenvorrath vorn . . .	1,08 „
„ „ „ hinten . . .	1,88 „
Grösse des Hauptspantes . . . . .	6,80 qm
Grösse des Deplacements . . . . .	90,60 cbm
Grösse der benetzten Oberfläche . . . . .	118,00 qm
Deplacements-Coëfficient . . . . .	0,587
Die Maschine leistete bis zu . . . . .	206 I. P. S.

Der Schiffskörper besteht aus Eisen, das Deck ebenfalls; die Form ist in der Zeichnung *Tafel 77 Fig. 2* dargestellt; die Einrichtung ist zum Theil auf den Photographien zu erkennen. Maschinen- und Kesselraum liegen in der Mitte der Länge, davor ist die Kajüte des Schiffers, und hinter der Maschine befindet sich der Mannschaftsraum. Dicht hinter dem Schornstein steht die Steuervorrichtung mit horizontal liegendem Rad und unmittelbar dahinter befinden sich zur Befestigung der Schlepptrossen zwei starke, aus schmiedeeisernen Rohren gebildete, senkrecht stehende, durch das Deck laufende Poller, die durch Querstück, ebenfalls aus schmiedeeisernem Rohr miteinander verbunden sind. Der Schornstein, zum Niederlegen eingerichtet, wird durch Gegengewichte ausbalancirt. Ausserdem befinden sich auf Deck eine kleine Ankerwinde und mehrere gusseiserne Poller etc.

Die nach dem Compoundsystem mit Condensation gebaute Maschine besteht aus einem Hoch- und einem Niederdruckcylinder, welche beide in einer Querebene des Schiffes mit ihrem Hinterende nahe dem Deck liegen und nach der Wellenmitte zu geneigt sind.

Durchmesser des Hochdruckcylinders	331 mm,
„ „ Niederdruck „	610 „
Kolbenhub . . . . .	352 „

Die Pleuelstangen wirken auf eine gemeinschaftliche Kurbel. Der Antrieb der Luft- und Speisepumpe erfolgt mittelst Excenter von der Kurbelwelle aus.

Die Umsteuerung der Maschine kann sowohl von Deck, vom Stande des Rudersmannes, wie auch vom Maschinenraum aus gehandhabt werden. Es kann also der



Schiffsführer ohne vorher ein Kommando an den Maschinisten zu geben, die Maschinenkraft der gewünschten Geschwindigkeit anpassen. Für die Versuchsfahrten war dies ein günstiger Umstand.

Der Kessel ist als Rundkessel mit rückkehrender Feuerung nach dem Marinetyp gebaut und mit 8 Atm. Ueberdruck concessionirt.

Die aus Gusseisen hergestellte vierflügelige, rechtsgängige Schraube hat einen Durchmesser von 1,62 m und eine mittlere Steigung von 1,96 m. Die Projectionsfläche der 4 Flügel beträgt 1,055 qm.



## III.

## Die Versuche.

## A. Beginn und Zahl der Versuche.

Vor Beginn der Versuche wurden behufs Einarbeiten des Personals, Erproben einzelner Einrichtungen für sich und im Zusammenhang mit anderen, etc. eine Reihe von Fahrten ausserhalb der Versuchsstrecke unternommen. Dabei war der Schleppdampfer vorn auf 1,25, hinten auf 1,75, im Mittel auf 1,5 m und der im Schlepptau befindliche Kahn vorn und hinten gleichmässig auf 1,5 m Tiefgang gebracht. Es stellten sich hierbei Schwierigkeiten für den gleichmässigen Gang der Maschine heraus, die um so beträchtlicher wurden, je kleiner die Zahl der Maschinenumdrehungen war. Dies hatte zum Theil seinen Grund in der alten bereits in ihren Theilen etwas abgenutzten Maschine und auch in der Ungleichmässigkeit des Heizens, Uebelstände, die durch Annahme eines anderen, mehr geübten Maschinisten gemildert wurden, später jedoch auf die Versuche immer noch nachtheilig eingewirkt haben.

Dennoch gelang es mit Hülfe des Gyrometers, bei dem ersten Fahrversuch am 9. Mai eine in der Beobachtungsstrecke fast gleichmässige Geschwindigkeit von 0,95 m/sec. und im Mittel von 2 Versuchen, welche mit 1 m/sec. Geschwindigkeit ausgeführt werden sollten, eine Fahrgeschwindigkeit von 0,985 m/sec. zu erzielen.

Die hiermit vorbereiteten Versuche wurden dem Arbeitsplan gemäss, ausgeführt, doch konnte die aufgegebenen Anzahl der Fahrten nicht erreicht werden, weil die Zugkraft des Schleppdampfers dazu nicht ausreichte und die grossen Geschwindigkeiten die tiefbeladenen Schiffe unlenksam machten.

An Versuchsfahrten wurden in der Zeit vom 9. Mai bis 25. August gemacht:

Mit Goedhart schleppt Emden,	
Tiefgang 1,50, 1,75, 2 und 2,25 m . . . . .	107 Fahrten
Desgl. Ersatzfahrten bei 1,50 m Tiefgang, . . . . .	12 „
Mit Goedhart schleppt Emden u. Dortmund . . . . .	48 „
Mit Dortmund alleinfahrend . . . . .	104 „
Mit Dortmund schleppt Emden . . . . .	19 „
Mit Goedhart schleppt Lloydkahn . . . . .	35 „
Mit Goedhart alleinfahrend . . . . .	19 „
Summa: . . . . .	344 „



### B. Art der Ausführung.

Nach Einstellung der Einsenkungspegel und Aufnahme der 00 Photographieen wurde das Versuchsschiff nach Station 80 der Versuchsstrecke gebracht. Das Ende der Stahldrahtleine des Geschwindigkeitsmessers wurde, wie angegeben, befestigt, und nachdem der Schleppdampfer das Bugsirtau, welches mit einem Auge über den Haken des Dynamometers gelegt war, nahezu straff gezogen hatte, dem Goedhart Befehl zum Abfahren ertheilt. Vorher war ihm die ungefähre Anzahl der mit der Maschine zu machenden Umgänge angegeben, die er allmählich zu erreichen suchen musste. War dieses geschehen und durch Flaggensignal gemeldet, dann öffnete man den Hahn des Dynamometers, der zur Vermeidung von Stößen auf die Federn der Manometer vor der Abfahrt geschlossen sein musste. Sobald nach Anzeige des Gyrometers eine Vermehrung oder Verminderung der Maschinenkraft nothwendig war, dann wurde dies mittels des auf *Tafel 77 Fig. 5* sichtbaren Signalflügels dem Goedhart angegeben.

Der Führer des Schleppdampfers und der des angehängten Schiffes mussten sorgfältig auf das Innehalten der durch die oben erwähnten Baken bezeichneten Kanalmitte Acht geben und jede Abweichung davon durch entsprechende Ruderstellung ausbessern, was bei den kleinen Geschwindigkeiten und Tiefgängen der Lastschiffe nicht schwierig war. Bei Geschwindigkeiten über 1,5 m/sec. und bei 2 m Tiefgang konnte die Richtung selbst mit dem verhältnissmässig scharfen Lloydkahn kaum noch aufrecht erhalten werden; bei schnellerer Fahrt musste das Ruder fortwährend von Bord zu Bord gelegt werden, um das stets nach dem einen oder anderen Ufer sich hinwendende Schiff vor dem Festlaufen in die Böschungen zu bewahren. Die unruhigen Bewegungen des Schiffes, machten es schon bald nach Beginn der Fahrt unmöglich, das Schiff, wenn es unmittelbar vom Ufer abgegangen war, mittels des Ruders in die Mitte des Kanals zu bringen und darin zu erhalten. Immer näherte es sich dem einen oder dem andern Ufer, dem es am nächsten lag. Aus dieser Veranlassung wurden die Lastschiffe vor der Abfahrt auf die Mitte des Kanals gelegt, wodurch die geschilderten Uebelstände sich jedoch nicht ganz beseitigen liessen. Nur sehr schnelles Ueberlegen des Ruders von hart S. B. nach hart B. B., oder umgekehrt, konnte das Schiff vor dem Einlaufen in die Ufer bewahren.

Bei den meisten Fahrten gelang es, die vorgeschriebene Geschwindigkeit in ca. 200 m Entfernung vor der Beobachtungsstrecke zu erreichen und fast gleichmässig beizubehalten. Sobald das geschleppte Schiff der durch die Baken c c bezeichneten Linie nahe kam, gab ein starker Ton aus einem Nebelhorn sämmtlichen Betheiligten davon Nachricht, damit der Anfang der Beobachtungen auf den Diagrammen gekennzeichnet, und die Aufnahme der Photographie vom vorderen Tiefgang rechtzeitig gemacht werden konnte. Demnächst folgte die Aufnahme des hinteren Tiefganges und unmittelbar darauf die von dem ganzen Schiff mittels der Cameras 1, 2 und 3. Später wurde vielfach die



Beobachtungsstrecke aufgenommen, bevor das Versuchsschiff sie erreichte und ebenso nachher, nachdem sie wieder verlassen war. Es mussten hierzu die Kassetten durch Arbeiter schnell gewechselt werden, was in den meisten Fällen gut gelang. In dem Maschinenraum des Schleppdampfers nahm der eigens zu dem Zwecke angestellte Maschinentechner die Indicator-Diagramme von den beiden Cylindern gleichzeitig auf und stellte die zugehörige Zahl der Maschinenumdrehungen fest, worauf die indicirten Pferdestärken sofort berechnet und notirt wurden.

Nach dem Ueberschreiten der durch die Baken d d bezeichneten Linie und nach Abstellen des Chronographen daselbst, gab ein zweiter Ton des Nebelhorns hiervon Kenntniss und nun musste das Versuchsschiff durch am Lande schnell zu befestigende Leinen abgestoppt werden, weil eine nicht weit abliegende Brücke ihm gefährlich werden konnte. Dies war noch schwieriger bei einem Schleppzug mit zwei Schiffen und gab mehrfach zu Pollerbrüchen und sogar zu einem Zusammenstoss der beiden Schiffe Veranlassung, bei welchem Dortmund am Bug stark beschädigt wurde.

Nach vollendeter Fahrt musste der Schleppdampfer wenden und den Schleppzug nach der Anfangsstation rückwärts zurückschleppen, wobei die Messleine wieder auf die Trommel gewickelt wurde. Diese Rückfahrten waren nicht ohne Gefahr für die Schleppkähne, deren Steuerruder nur wenig wirksam sein konnte. Ein heftiger Zusammenstoss des Dortmund mit dem Schleppdampfer rieth zu besonderer Vorsicht. Es wurden desshalb von den rückwärts geschleppten Schiffen vorn und hinten zwei Leinen nach dem linken Kanalufer hinüber genommen und dort von je einem Arbeiter getragen. Sobald eine Störung im Steuern eintrat, befestigten die Arbeiter die Leinen am Ufer und gleichzeitig legte die Mannschaft des Schiffes die anderen Enden um die Poller fest. Dadurch konnte das Schiff jedesmal in die richtige Lage zurückgebracht werden.

Ein voller Versuch nahm durchschnittlich 40 Minuten in Anspruch. Gewöhnlich konnten 10, höchstens 12 Fahrten an einem Tage ausgeführt werden. Nur mit «Goedhart alleinfahrend» wurden 15 Fahrten innerhalb 5 Stunden vollendet.

Längeren Aufenthalt verursachten die Be- und Entladungen der Schiffe mit Sand. Der Transport der Schiffe nach einer ca. 4 km entfernten Ladestelle und das Ausgleichen der Ladung behufs Erzielung gleichmässigen Tiefganges kostete Zeit und Mühe. Im Ganzen wurden die 3 Schleppkähne 19 mal umgeladen.



## IV.

## Versuchsergebnisse.

## A. Die Zugkräfte und Pferdestärken.

In die *Tabellen 1—6 Spalte 17* (Abschnitt IV, C. 3) sind die vom Dynamometer angegebenen, nach der Tarirung berichtigten Zugkräfte, sowie in *Spalte 19* die indicirten Pferdestärken eingetragen, welche bei den Versuchsfahrten ermittelt und auf den *Tafeln 1—46* und *49—70* bildlich und zeichnerisch dargestellt wurden. Die Kurven der Zugkräfte und indicirten Pferdestärken auf den *Tafeln 71, 72* und *73* wurden nach den Ergebnissen der Versuchsfahrten aufgetragen. Man findet aus diesen Kurven für jedes gleichartige Schiff, welches im Dortmund—Ems-Kanal eine bestimmte Geschwindigkeit dauernd annehmen soll, annähernd die dazu erforderliche Zugkraft und die Pferdestärke des Schleppdampfers bez. des mit eigener Maschine fortbewegten Schiffes. Die Geschwindigkeiten sind als Abscissen, die Zugkräfte oder Pferdestärken als Ordinaten aufgetragen. Die Kurven können nur annähernd als richtig gelten, weil die Umstände, unter denen die Versuchsfahrten gemacht wurden, sehr verschieden waren. Die Ursachen dieser Verschiedenheiten sollen in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

Von Goedhart alleinfahrend ist die Kurve der I. P. S. *Taf. 73* und von Dortmund alleinfahrend *Taf. 71* aufgetragen. Die vier zusammen aufgetragenen Kurven gelten für Dortmund bei Tiefgängen von 1,50 m, 1,75 m, 2,00 m und 2,25 m. Bei Goedhart war  $T = \frac{1,08}{1,88}$ . Dortmund indicirte mehr Pferdestärken, als Goedhart mit Emden, weil die Maschine des Dortmund ohne Condensation arbeitet und der Schraubendurchmesser kleiner ist, als bei Goedhart.

Die Kurven für Emden von Goedhart geschleppt, sowie Emden und Dortmund von Goedhart geschleppt, *Taf. 71, 72* und *73*, bestehen für jeden der Schleppzüge aus zwei Gruppen, und diese umfassen je vier Kurven für oben angegebene vier Tiefgänge der Schiffe.

Die Kurven für I. P. S. und Zugkräfte des Lloydkahn von Goedhart geschleppt, *Taf. 72*, sind nur für drei Tiefgänge ausgeführt.

Aus den Kurven lassen sich die I. P. S. und die den Zugkräften gleichen Schiffswiderstände für jede Geschwindigkeit von 0 bis zu der nach der grössten Abscisse zu bestimmenden, bei dem betreffenden Tiefgang ermitteln.

Die Versuche mit Emden von Dortmund geschleppt wurden bei den verschiedenen Tiefgängen beider Schiffe nur mit der von dem Schleppzug höchsterreichbaren Geschwindigkeit angestellt, mit alleiniger Ausnahme derjenigen, bei denen



Dortmund 1,50 m und Emden 2,25 m Tiefgang hatten. Die Ergebnisse findet man in *Tabelle 5*, (C. 3.) sowie neben den Zeichnungen der *Taf. 62, 63* und *64* angegeben.

Die aus den Kurven sich ergebenden I. P. S. sind selbstverständlich nur diejenigen, welche für die Maschine des Goedhart oder diejenige des Dortmund unter den Umständen gelten, die zur Zeit der Ausführung der Versuche in dem Kanal obwalteten. Da aber die Umstände an anderen Stellen desselben Kanales von denen in der Beobachtungsstrecke bei Lingen verschieden sein können, müssen zu den Zugkräften für etwaige Kostenberechnungen wenigstens 5 % hinzugerechnet werden. Will man die Maschinenkraft ermitteln, welche einem für die Fahrt auf dem Kanal zu bauenden Schiff zu geben ist, so muss sie mindestens um 10 % der aus den Versuchen hergeleiteten I. P. S. erhöht werden.

Sämmtliche Kurven nach Art der Zusammenstellung der *Taf. 71, 72* und *73* lehren, dass in dem Kanal die in kg ausgedrückten Zugkräfte von 0 ab zunächst bis zu einer gewissen Geschwindigkeit, die von dem Tiefgang abhängt und zu dieser im umgekehrten Verhältniss steht, schneller zunehmen, als die I. P. S. Demnächst aber wachsen letztere wiederum schneller, als die Zugkräfte, und zwar umsomehr, jemehr die Tiefgänge zunehmen. Man sieht aus der Richtung, die alle, die I. P. S. darstellenden Kurven annehmen, dass insbesondere die I. P. S. bei 2 und 2,25 m Tiefgang bald unendlich gross werden müssen, dass also eine Fortbewegung sehr bald unmöglich wird. Dasselbe gilt von den Kurven der Zug- und Widerstandsleistungen.

Im Nachstehenden sind für die einzelnen Schiffe und die daraus zusammengesetzten Schleppezüge die Geschwindigkeiten angegeben, welche in wirthschaftlicher Beziehung noch als zulässig angenommen werden können. Sie ergeben sich unmittelbar aus Vergleichung der Widerstandskurven, mit denen der indicirten Pferdestärken.

Für Goedhart alleinfahrend, wird die Geschwindigkeit bis 2,30 m noch verhältnissmässig günstig sein, darüber hinaus steigt die Erhöhung der Pferdestärken unverhältnissmässig rasch.

Dortmund alleinfahrend wird bei 1,50 m Tiefgang und 1,6 m/sec. Geschwindigkeit noch vortheilhaft fahren können, bei 1,75 m Tiefgang und über 1,4 m/sec. jedoch schon anfangen, verhältnissmässig viel Kraft zu gebrauchen. Dies tritt bei 2,0 m Tiefgang schon bei 1,22 m/sec., und bei 2,25 m Tiefgang bereits bei 1,10 m/sec. ein.

Für Emden von Goedhart geschleppt muss das Gleiche bei nahezu gleichen Geschwindigkeiten, wie bei dem vorhergehenden Dortmund, eintreten.

Günstiger stellt sich die Sache der schärferen Schiffsform und des kleineren Displacements wegen bei Goedhart schleppt Lloydkahn, bei dem die Grenzen für 1,5 m Tiefgang bei 1,65 m/sec, für 2,0 m bei 1,47 m/sec. und für 2,25 m bei 1,30 m/sec. liegen.

Selbstverständlich ergeben sich für Goedhart schleppt Emden und Dortmund die engsten Grenzen. Sie betragen resp. 1,25, 1,10, 0,95 und 0,75 m/sec. Geschwindigkeit.



Soweit nicht andere Factoren zu berücksichtigen sind, würde ein wirtschaftlicher Betrieb im Kohlenverbrauch mit einem allein fahrenden Schiffe, wie Goedhart bis zu einer Geschwindigkeit von 2,30 m/sec. zu erzielen sein. Darüber hinaus nehmen die Kosten für die zu durchlaufende Wegeinheit in beschleunigtem Maasse zu.

Ein Fracht tragendes Schiff mit eigener Triebkraft, wie Dortmund, muss für die Kanalfahrt entsprechend den unter 2 gegebenen Zahlen, mit einem Tiefgang von 1,5 m sich vortheilhaft verwerthen lassen, wenn schneller Transport der Ladung gewünscht wird. Vermehrt man den Tiefgang auf 1,75 m und damit die Grösse der Ladung, so geschieht dies ersichtlich auf Kosten der Geschwindigkeit oder des Kohlenverbrauchs, was bei Erhöhung der Ladung bis auf 2 m Tiefgang noch mehr der Fall ist. Eine Beladung auf 2,25 m würde gradezu unvortheilhaft sein.

Die Zusammenstellung von Schleppzügen aus Goedhart und Emden oder Goedhart und Lloydkahn bietet der Dampfkahnfahrt gegenüber gewisse Vortheile, sie können um das Gewicht von Maschine, Kessel und Kohlenvorrath mehr Ladung einnehmen, sind jedoch weniger beweglich und selbständig bei den verschiedenen Manövern, welche die Lastschiffe von ihren Schleppdampfern abhängig machen.

Schleppzüge mit zwei Anhängen eignen sich für Transporte von Waaren, bei denen auf Schnelligkeit der Beförderung weniger Werth gelegt wird. Bei Vermehrung der Anhänge muss eine grössere Zugkraft entwickelt werden, wenn die Fahrgeschwindigkeit beibehalten werden soll. Damit steigt der Kohlenverbrauch und verstärken sich die Angriffe denen das Kanalprofil ausgesetzt ist.

## B. Die Photographieen.

Als Mittel zur Festlegung einer sehr grossen Anzahl von Beobachtungen haben die photographischen Aufnahmen den Erwartungen voll entsprochen. Kein anderes der bekannten Mittel hätte eine auch nur annähernd so grosse und zuverlässige Ausbeute aus den Versuchen liefern können. Hierdurch allein ist die vorliegende Zusammenstellung und die wiederholte Prüfung ihrer Richtigkeit möglich geworden.

An Photographieen wurden angefertigt:

Zu den 00 Aufnahmen . . . . .	98 Stück
von Goedhart allein fahrend . . . . .	51 „
„ Dortmund allein fahrend . . . . .	433 „
„ Goedhart schleppt Emden . . . . .	537 „
„ Goedhart schleppt Lloydkahn . . . . .	212 „
„ Dortmund schleppt Emden . . . . .	146 „
„ Goedhart schleppt Emden und Dortmund . . . . .	468 „
„ den Pendelversuchen . . . . .	64 „
„ den Versuchen bei Hanekenfähr . . . . .	9 „

Zusammen 2018 Stück.



Die 00 Aufnahmen mittelst der Cameras 1, 2 und 3 dienten zur Berichtigung der Ablesungen, welche von den Aufnahmen der Schiffspegel während der Fahrt gewonnen wurden. Sie waren nöthig, weil die Sollangabe der Pegel nicht immer mit der Wasserlinie übereinstimmte. Aus demselben Grunde waren die Einsenkungspegel, die von den Aufnahmen der Camera 4 abgelesen wurden, nach den 00 Aufnahmen zu verbessern. Man sieht auf den Lichtdruckbildern mehrfach Abweichungen bis zu 2 cm von der 0 Linie, welche entweder die Unterkante oder die Mitte der Pegellatte war. *Textfigur 14* erläutert die Aufnahmen der Einsenkungshöhen mittels zweier Cameras vorn und hinten gleichzeitig.

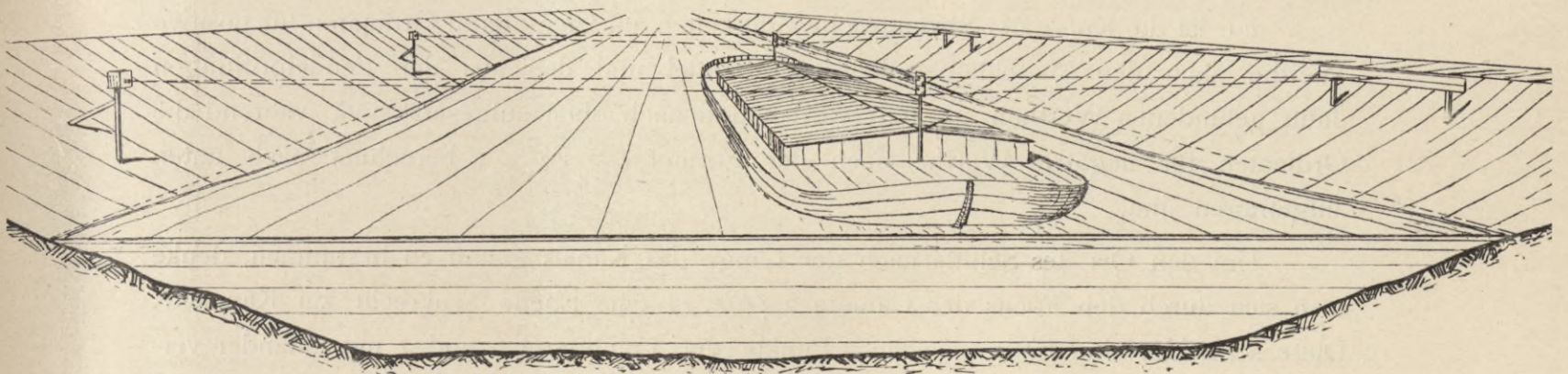


Fig. 14.

Die Abmessungen der Pegel und Pendel, welche zur Anfertigung der Zeichnungen der *Tafeln 48—70* benutzt wurden, sind von den Photographien entnommen. Aus jeder Versuchsreihe ist diejenige Aufnahme ausgewählt, welche am besten ablesbar war und für welche die Dynamometer und die Indicatorangaben am zuverlässigsten waren. Nach diesen sind die 65 Zeichnungen auf den *Tafeln 49—70* ausgeführt. Die Photographien, welche zur Anfertigung der Lichtdruckbilder auf *Taf. 47* und der Zeichnungen auf *Taf. 73* dienten, werden an anderen Stellen erklärt.

### C. Lichtdruckbilder und Photolithographien.

1. Anfertigung der *Tafeln* nach den Photographien. Die Vorlagen für den Druck der *Tafeln 1—47* sind durch Zusammensetzen der Photographien gebildet worden. Die Schärfe der Bilder glich derjenigen der Photographien nicht genügend, die Pegeltheilung, theilweise unsichtbar geworden, musste deshalb nachgebessert werden. Ferner sind einige Nachbesserungen bei den Zusammenstößen der einzelnen Bilder gemacht worden, welche sich nur auf Nebendinge erstrecken; die dargestellte Wasseroberfläche ist davon fast ganz verschont geblieben.



Die Herstellung der Zeichnungen aus den Photographieen wird *Taf. 48*, durch *Fig. 3* und *4*, und Profil 3—9 erläutert. Dort ist der Versuch: Dortmund alleinfahrend, 28. 6 No. 4. T 1,75 . G 1,56 dargestellt. Der Wasserstand im Kanal wurde nach dem Landpegel No. 13, bei senkrechter Stellung des Pendels No. 13 und vollkommener Ruhe des Wasserspiegels auf N. N. + 21,05 d. i. 2 cm unter dem Normalwasserstande im Kanal festgestellt.

Aus den Photographieen, welche die Wasserlinie am Ufer während der Vorüberfahrt des Schiffes festgelegt hatten, wurden die Abstände beider Linien entnommen und unter der Linie des Wasserstandes in *Fig. 3* an den Orten der Landpegel aufgetragen und dadurch die Kurve a a der Wasserlinie am Ufer gefunden.

c c ist die Kurve der Stromgeschwindigkeiten am Ufer, deren Ordinaten für positive Werthe nach den Ausschlagswinkeln der Pendel und den aus den Pendelprüfungen dafür gefundenen Werthen ermittelt wurden und nach oben aufgesetzt sind, während die Ordinaten für negative Werthe nach der Formel  $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$  berechnet nach unten aufgetragen sind.

Um den Ort des Schiffes nach der Länge des Kanals genau zu bestimmen, denke man sich durch den Focus der Camera 2 (*Fig. 1*) eine Ebene senkrecht zur Kanalaxe. Diese schneidet eine Linie, welche 2 Punkte der Landpegel 6 und 7 mit einander verbindet, die beide 60 cm von der Oberkante der Pegel abstehen. Die Länge der Linie zwischen ihren Endpunkten beträgt 8,0 m, auf den Photographieen gemessen 26,7 mm. Die Länge eines Meters der genannten Linie auf der Photographie beträgt also  $\frac{26,7}{8}$  mm. Der Abstand der vertikalen Ebene durch den Focus der Camera 2 von Pegel 7 ist in Wirklichkeit 2,3 m, mithin auf der Photographie

$$\frac{26,7}{8} \cdot 2,3 = 7,68 \text{ mm.}$$

Die genannte Ebene theilt ferner die 5 m lange Entfernung der Schiffspegel S 8 und S 9 in einem bestimmten Verhältniss. Auf der Photographie misst diese Entfernung 29,2 mm und der Abstand der senkrechten Ebene von S 9 beträgt dort 8,6 mm. Hieraus ergibt sich der Abstand x der Ebene vom Schiffspegel S 9

$$x = 1,47 \text{ m.}$$

Aehnlich wurde die Lage der Mittellinie der Schiffe zur Kanalaxe bestimmt. Die Längen der in Wirklichkeit 60 cm langen Pegel zum Messen der Einsenkungshöhen vorn und hinten, auf den Photographieen gemessen, boten dazu die Mittel. Aus dem wagerechten Abstand des Focus der Cameras von den am gegenüberliegenden Ufer befindlichen, wagerecht angebrachten Latten a, a, welcher 48,43 m beträgt und der Länge dieser Latten von 6 m, die auf den Photographieen zu 18,80 mm ermittelt wurde, lassen sich die Abstände der Punkte e, e, (*Fig. 3*) der Mittellinie des Schiffes vorn und



hinten von der Kanalmitte errechnen. Sie betragen hier an der Stelle des vorderen Einsenkungspegels 0,07 m nach B. B. und an der des hinteren 0,69 m nach B. B.

Die Kurve *b b* ist die am Schiff während der Fahrt sich abzeichnende Wasserlinie. Vorn ist *b* ihr höchster, durch die Bugwelle entstehender Anfangspunkt. Dann fällt sie fast senkrecht bis zu der eingesenkten Wasserlinie und läuft an dieser in Wellenform entlang, bis sie aus dem letzten Wellenthal, welches ebenso, wie das erste eine grössere Tiefe hat, als die übrigen Thäler, nach *b* bis zur Höhe der Heckwelle hinaufsteigt. Die Ordinaten der Kurve sind die nach der 00 Aufnahme verbesserten Ablesungen der Schiffspegel, welche von der eingesenkten Wasserlinie *e e* aus auf den Pegellinien *S 1* bis *S 17* abgetragen wurden. Soweit die Pegelmaasse auf den Photographieen sich nicht bestimmen liessen, erscheint die in *Fig. 3* voll ausgezogene Linie auf den anderen Zeichnungen gestrichelt.

Die gestrichelte Linie *e e* ist die Wasserlinie des Schiffes während der Fahrt. Ihre Punkte *e. e* sind aus den Einsenkungsaufnahmen ermittelt worden. Die dort von den Pegeln zum Messen der Einsenkungshöhen abgelesenen Maasse wurden gleichfalls nach den 00 Photographieen richtig gestellt.

Dem hier behandelten Versuch ging eine Feststellung der Kanalprofile voraus und eine zweite folgte bald nachher. Aus beiden bilden die Profile *Tafel 48 3—9* die Mittel. In diese gemittelten Profile sind die Querschnitte des Schiffes eingezeichnet, welche zur Zeit der photographischen Aufnahme mit ihnen zusammenfielen. Ihre Lage zur Mitte des Kanals und zur Wasserlinie der Ruhe wurde nach den vorangegebenen festgestellt. Ferner wurden in *Fig. 3* nach Kurve *a a* die Einsenkungshöhen am Ufer für die einzelnen Kanalprofile ermittelt und in die Querschnitte eingetragen. Da von den Linien, welche in den Profilen die eingesenkte Wasseroberfläche angeben, keine zwischen Schiff und Ufer liegenden Punkte bekannt sind, so wurden diese Linien als gerade angenommen. Sie verbinden in jedem Profil den am Schiffsquerschnitt bezeichneten Punkt der Wasserlinie des Schiffes mit dem Schnittpunkt der Profilebene und der Wasserlinie am Ufer. Wahrscheinlich haben diese Linien in Wirklichkeit Wellenform, deren tiefste Punkte zwischen Ufer und Schiff liegen, was während der Versuche nicht bestimmt ermittelt werden konnte und deshalb hier unberücksichtigt geblieben ist. Der dadurch etwa entstehende Fehler kann nicht bedeutend sein.

Für jedes Profil wurde der Querschnitt *Q* des Wasserkörpers im Kanal während der Ruhe, der Querschnitt  $\Delta Q$  der Einsenkung und derjenige des Displacements *q* ermittelt, sodann die Wassermenge, welche durch das mit der Geschwindigkeit *G* laufende Schiff verdrängt wird, d. i.  $G \cdot (\Delta Q + q)$ , derjenigen Wassermenge, welche mit der mittleren Geschwindigkeit  $v_m$  zum Abfluss gelangen muss, d. i.  $v_m (Q - \Delta Q - q)$ , gleichgesetzt, erhält man die mittlere negative Geschwindigkeit

$$v_m = \frac{\Delta Q + q}{Q - \Delta Q - q} \cdot G,$$



In nachstehende Tabelle sind die dazu nöthigen Einzelwerthe und die daraus errechneten  $v_m$  für jedes Profil eingetragen.

Profil	3	4	5	6	7	8	9
Q qm	57,55	56,91	56,32	57,63	59,57	59,14	58,68
$\Delta Q$ qm	3,75	4,56	4,62	4,58	4,47	4,14	3,53
q qm	1,00	13,34	14,10	14,10	14,10	14,10	10,60
$V_m$ m/sec	0,140	0,716	0,777	0,746	0,707	0,696	0,495

Diese mittleren Geschwindigkeiten wurden in *Fig. 3* als Ordinaten unter dem Ort der Profile aufgetragen und danach die Kurve *d d* gebildet.

In gleicher Weise ist die Kurve *ff* für  $\Delta Q$  in *Fig. 3* entstanden. Ferner sind in *Fig. 4* die vollen Kanalprofile  $Q$  und die nach Abzug der  $\Delta Q$  davon entstandenen Profile  $Q - \Delta Q$  als Ordinaten aufgetragen und danach die Kurven der  $Q$  und der  $Q - \Delta Q$  ausgezogen. Aus dem Inhalt der durch jede dieser vier Kurven, der Axe der Abscissen und der Endordinaten eingeschlossenen Ebene, dividirt durch die Länge des Schiffes, welche dem Abstand der Endordinaten von einander gleich, 65,10 m beträgt, erhält man in

$$\begin{aligned} Q &= 57,957 \text{ qm} \\ \Delta Q &= 4,320 \text{ „} \\ Q - \Delta Q &= 53,641 \text{ „} \\ v &= 0,659 \text{ m/sec.} \end{aligned}$$

vier mittlere Werthe, aus denen die neben *Fig. 3* (*Taf. 48*) verzeichneten Werthe gebildet wurden. Ebenso sind die neben den Zeichnungen der *Tafeln 49—70* angegebenen Werthe entstanden.

Die Zeichnungen auf den vorgenannten Tafeln sind nach dem oben beschriebenen Verfahren ausgeführt, die Entstehung der Linien in den Strecken vor, zwischen und hinter den Schiffen bedarf keiner Erläuterung.

2. Beschreibung der Tafeln. Die *Tafeln 1—47* sind aus den Photographieen entstanden, jede von ihnen besteht aus 5 Reihen, welche nachstehend mit I bis V bezeichnet werden. Die meisten der Reihen sind aus 3, andere aus 4 und 5 einzelnen Bildern zusammengesetzt, welche von links nach rechts mit 1 anfangend, genannt werden sollen.

Die Beschreibung erstreckt sich auf einzelne Tafeln, wo die Versuche auf mehreren Tafeln zusammen dargestellt sind, wurden die darauf hervortretenden Erscheinungen gemeinsam behandelt. *Tafel 1* zeichnet sich vor fast allen anderen durch die Spiegelglätte des Wassers vor dem Goedhart aus. Diese Glätte, sowie die Landpegel und Pendel 13 bis 9 der ersten Bilder (Reihe I bis IV) zeigen, dass vollständige Ruhe des Wassers vor dem Versuchsschiff vorhanden war. Das Schiff muss also alles Wasser nach hinten schaffen, welches es aus der Ruhelage zu verdrängen hat, um



sich seinen Weg zu bahnen. Die Bäume, Tafeln und Stangen auf der rechten Seite des Kanals spiegeln sich unverzerrt in der Wasseroberfläche, darunter auch auf Reihe I die Stange mit dem weissen Brettchen, welche zwischen Pendel 8 und Landpegel 8 am Ufer steht. Reihe II zeigt dieselbe Stange von kleinen Wellen beeinflusst, jedoch noch ungekrümmt. In Reihe III, Bild 1, neigt das Spiegelbild der Stange mit dem Oberende leicht dem Vorsteven des Goedhart zu, und in Reihe IV erscheint diese Neigung vergrössert. Dort muss also der Wasserspiegel schon leicht gehoben sein. Der Einfluss des Schiffes beginnt somit in Reihe III ca. 2,5 m, in Reihe IV ca. 3 m vor dem Vordersteven. Dasselbe deutet am Ufer in Reihe II das Pendel 9 durch Ausschlag nach rechts an, welches auf I noch senkrecht hängt. Auf III ist der Pendelausschlag stärker, Landpegel 9 zeigt leichten Fall der Wasserlinie und beides lässt IV in erhöhtem Maasse erkennen. Die Bugwelle sieht man auf *Tafel 8*, Reihe V, Bild 1, leicht angedeutet, auf Bild 3 zeigt sie sich für  $G = 1,66$  schon deutlicher und für  $G = 2,36$  ist sie auf *Tafel 9*, Reihe V, Bild 2, bereits mit einem schäumenden Kamm versehen, der auf *Tafel 1*, Reihe V, Bild 4, für  $G = 2,70$  kräftiger hervortritt. Von der Form und Grösse der letzten beiden Bugwellen geben die beiden Spiegelbilder bemerkenswerthe Andeutungen. Die Pendel und Landpegel auf Reihe I, Bild 2, geben schwache Zeichen von einer negativen Strömung am Ufer. Sie ist wenig stärker in Reihe II, jedoch mehr in Reihe III; IV zeigt bedeutenden Fall der Wasserlinie am Ufer, sowie Pendelausschläge, welche den Umständen nach nicht grösser sein können.

Interessant ist die Gestaltung der aus den Bugwellen entstehenden Wellen. In Reihe I sind sie an der Schiffsseite nur schwach angedeutet, Reihe II erscheinen sie stärker, und ihr Kamm ist durch die negative Strömung etwas gekrümmt. Sie wachsen mit der Schiffsgeschwindigkeit, ihr Kamm stellt sich auf Reihe II, III und IV immer mehr senkrecht zum Ufer und eine davon bildet, unterstützt von den andern, die brechende Welle am Ufer (Reihe IV). Das Kielwasser, verstärkt durch das von der Schraube zurückgeworfene Wasser, ist gering in Reihe I, deutlicher erkennbar in II, Stärke und Länge wachsen in III und sind am bedeutendsten in Reihe IV. Dasselbe gilt von den Heckwellen. Auf den 3 Bildern der 4 Reihen lässt sich auch der Ausgleich des Wasserstandes zwischen vorn und hinten am Ufer nachweisen. Pendel und Landpegel zeigen in Reihe I weder eine Strömung noch eine andere Wasserbewegung an. Die Pendel und Landpegel 1—4 auf Reihe II, Bild 3, geben ebenfalls ruhiges Wasser an, und das gleiche zeigen 1—3 auf Reihe III und IV. Ob und wie weit das Kielwasser in der Mitte hinter dem Schiff sich noch fortsetzt, lässt sich auf den Bildern nicht messen, anscheinend reicht es in III und IV nur wenig über das Ende der Beobachtungsstrecke hinaus, und nach I und II muss der vollständige Ausgleich des Wassers schon vorher erfolgt sein.

Die *Tafeln 2* und *3* bieten Anlass zu ähnlichen Betrachtungen, doch zeigen sie wenig von den Wasserbewegungen vor und hinter den Schiffen. Die Spiegelglätte in den meisten Reihen auf *Tafel 3* und *4* deuten für Dortmund dasselbe an, was von Goedhart



gesagt wurde. Die vollständig aufgenommene Strecke hinter Dortmund auf *Tafel 5*, Reihe II, III und IV geben gute Auskunft über den Ausgleich des Wassers hinter dem Schiff, etwas störend sind dabei die hell beleuchteten Zwischenräume zwischen den Spiegelbildern der am rechten Kanalufer stehenden Bäume, welche leicht fälschlich als Wellenbildungen angesehen werden können. Auf *Tafel 6* sieht man in Reihe IV und V, dass die Pendel zum Theil am Ende ihrer Wirksamkeit angekommen sind. Auf *Tafel 7* lassen sich in den Strecken hinter Dortmund Wirbel erkennen, welche vom Steuerruder erzeugt wurden und auf Schwierigkeiten beim Innehalten des Courses schliessen lassen. Die *Tafeln 8* und *9* enthalten Einsenkungsaufnahmen, von denen die des Vorschiffs Bugwellen und die des Hinterschiffs Heckwellen und starke Schaumbildung im Kiel- und Schraubenwasser aufweisen.

Auf *Tafel 10*, Reihe V, sieht man, wie schon bei 1,50 m Tiefgang sich bei der für den Kanal grossen Geschwindigkeit von 2 m/sec. starke Wellen vom Hinterschiff aus nach dem Ufer zu bewegen. Auf *Tafel 11*, Reihe V, ist dasselbe erkennbar, ausserdem zeigen sich vorn Wirbel, welche von dem Steuerruder des voraufgehenden Schleppdampfers gebildet sind. Daraus muss man schliessen, dass das Kiel- und Schraubenwasser des Schleppdampfers trotz des 100 m langen Schlepptaues den Widerstand des geschleppten Schiffes, dessen Tiefgang 1,75 m beträgt, schon bei 1,83 m/sec. Geschwindigkeit beeinflusst.

Die *Tafeln 12, 13* und *14*, welche den Schleppdampfer mit der Strecke zwischen ihm und Emden, Emden vollständig, und die Strecke hinter Emden darstellt, geben Aufschluss über die ganze Wasserbewegung an der Oberfläche. Zu erkennen ist das Anwachsen der Wellenbildung des Goedhart, sowie des Kiel- und Schraubenwassers bei Vermehrung der Geschwindigkeit. Die starke Wirbelbildung, welche von der häufigen Bewegung des Ruders hinter Emden herrührt, deutet die bei Geschwindigkeiten von mehr als 1,5 m/sec. bei 2 m Tiefgang entstehenden Schwierigkeiten beim Steuern an.

Die Reihen I und II der *Tafeln 15, 16* und *17* zeigen, wie die vorgenannten Schwierigkeiten bei geschleppten Schiffen mit 2,25 m Tiefgang schon bei 1 m/sec. Geschwindigkeit auftreten.

In den fünf Reihen der *Tafeln 18, 19* und *20* sind die Fahrten mit dem Lloydkahn bei 1,75 m Tiefgang dargestellt. Das verhältnissmässig scharf gebaute Schiff war bei 1,80 m/sec. Geschwindigkeit schon schwierig zu steuern, bei 2 m/sec. ist lebhaftere Wirbelbildung in der Strecke hinter dem Schiff zu erkennen und bei dem Versuch, mit 2,25 m/sec. zu fahren, lief das Schiff aus dem Ruder und in die Böschung.

Die *Tafeln 21, 22* und *23* stellen den ganzen Schleppzug von Goedhart mit Lloydkahn bei 2 m Tiefgang, sowie die Strecken hinter dem Schiff dar. Das Kiel- und Schraubenwasser des Goedhart wird stetig stärker mit der zunehmenden Geschwindigkeit und erreicht bei den Reihen IV und V den Bug des Lloydkahn. In Reihe V ist die



Senkung der Wasserlinie am Ufer sehr bedeutend und mehrere Pendel zeigen kaum noch einen Ausschlag, weil ihre quadratischen Platten nur noch theilweise im Wasser hängen. Gross waren die Schwierigkeiten bei 1,77 und 1,85 m/sec. Geschwindigkeit beim Steuern, für welche die in der Strecke hinter dem Schiff erkennbaren Wellen- und Wirbelbildungen den Beweis liefern.

Die beiden auf *Tafel 24, 25* und *26* dargestellten Fahrten mit 2,25 m Tiefgang, 1,01 und 1,27 m/sec. Geschwindigkeit ergeben, dass erstere schon mit Schwierigkeiten verbunden war. Das Fahren mit 1,27 m/sec. Geschwindigkeit verbieten schon die Schwierigkeiten beim Steuern, welche von den Wirbeln in der Strecke hinter dem Schiff sich ablesen lassen. Der Widerstand des Schiffes muss durch das Schraubenwasser des Schleppdampfers, welches sich bis zum Bug des geschleppten Schiffes erkennen lässt, bedeutend vermehrt werden.

Die Einsenkungsaufnahmen der Reihen III, IV und V zeigen, weil sie grösseren Maassstab haben, als die Gesamtaufnahmen, die Wasserbewegungen am Bug und Heck deutlicher, und bieten dadurch interessante Vergleiche unter einander.

Auf den *Tafeln 27, 28* und *29*, Reihe II, III und IV, sieht man Fahrten mit einem aus Dortmund und Emden gebildeten Schleppzug. Dortmund hat 1,50 m und Emden 2,25 m Tiefgang. Das schon bei 0,91 m/sec. Geschwindigkeit bedeutende Kiel- und Schraubenwasser wird bei 1,04 m/sec. wesentlich stärker. Es entsteht darin eine lebhaft Wellenbewegung und diese sowie das Kielwasser treffen den Bug des Emden. Hinter Emden sind Zeichen von schlechtem Steuern der Schiffe in Reihe IV an den dort sichtbaren Wirbeln bemerkbar. Reihe V, Bild 4, zeigt das stark schäumende Kielwasser des Dortmund, wodurch der etwa 80 % betragende Verlust durch Slip erklärt wird.

Die *Tafeln 30, 31* und *32* geben in Reihe II, III und IV drei Fahrten des aus Emden und Dortmund gebildeten Schleppzuges. Beide Schiffe haben in Reihe II 1,50 m, in III 1,75 m und in IV 2,00 m Tiefgang. Alle drei Fahrten wurden mit der grössten Maschinenleistung des Dortmund ausgeführt, welche dabei rund 98 . I. P. S. betrug. Die Zugkräfte im Schlepptau wurden der Reihe nach zu 669 kg, 675 kg und 650 kg gemessen. Die Geschwindigkeiten vermindern sich nahezu gleichmässig und dabei ist das Kiel- und Schraubenwasser in Reihe II am stärksten. Es nimmt mit Vergrösserung des Tiefganges ab, was sich auf *Tafel 32*, Reihe V, Bild 2, erkennen lässt, wenn man den grösseren Maassstab der Bilder berücksichtigt. Auf *Tafel 30*, Reihe III ist die Strecke vor Dortmund dargestellt, auch sie liefert den Beweis von der völligen Ruhe vor dem Schiff. Die leichten Wellen an der Oberfläche sind entstanden durch die Windstärke 3,0. Vom schlechten Steuern sieht man die stärksten Zeichen in Reihe III, was dem grossen Tiefgang des Emden zuzuschreiben ist.

Die *Tafeln 33, 34, 35* und *36* zeigen in den Reihen II bis V Fahrten mit den aus Emden, Dortmund und Goedhart gebildeten Schleppzügen, bei 1,50 m Tiefgang der Lastschiffe. Bei 1,75 m Tiefgang werden Fahrten mit ebenso zusammengesetzten



Schleppzügen auf den *Tafeln 37—40*, sowie bei 2,00 m und 2,25 m Tiefgang auf den *Tafeln 41—44* dargestellt. Sie geben für diese Art von Schleppzügen ein vollständiges Bild der Gestaltungen und Bewegungen an der Wasseroberfläche und Vergleiche unter einander lassen erkennen, wie mit Vergrößerung des Tiefganges und der Geschwindigkeit die Schwierigkeiten der Fahrt mit solchen Zügen zunehmen. Auf *Tafel 33—36*, Reihe II sieht man, dass bei den 4 Fahrten mit 1,06 bis 1,85 m/sec. Geschwindigkeit Schwierigkeiten für den Schleppdampfer und für das Steuern der Schiffe nicht vorkommen. Die *Tafeln 37—40*, welche Fahrten der Lastschiffe mit 1,75 m Tiefgang zeigen, deuten in Reihe II bei 0,54 m/sec. Geschwindigkeit vor, neben und hinter den Schiffen nur ganz schwache Wasserbewegungen an. Dagegen ist in Reihe V bei 1,48 m/sec. Geschwindigkeit hinter dem Schleppdampfer starkes Kiel- und Schraubenvasser sichtbar, welches bis vor den Bug von Emden reicht. Hinter Dortmund zeigen die vom Steuerruder gebildeten Wirbel in Zahl und Grösse die Anstrengungen, welche gemacht werden mussten, um das Schiff auf dem Cours zu halten. Die 4 Fahrten der Reihen II bis V auf *Tafel 41—44*, von denen die beiden ersten bei 2,00 m, die beiden letzten bei 2,25 m Tiefgang gemacht wurden, beweisen auf *Tafel 43*, Reihe II, dass schon für 2,00 m Tiefgang eine Geschwindigkeit von 1,20 m/sec. zu gross ist und dass der Tiefgang von 2,25 m für so grosse Schiffe im Kanal nicht anwendbar ist.

Die Einsenkungsaufnahmen auf *Tafel 45* und *46* bestätigen das Vorgesagte. Die Bilder der *Tafel 47* sind bereits oder werden noch an anderer Stelle besprochen.

Die Zeichnungen auf den *Tafeln 49—70* stellen zum Theil dieselben Wasserbewegungen dar, welche von den Lichtdruckbildern im Vorhergehenden beschrieben wurden. So findet man darauf die Angaben der Pendel und Landpegel, sowie die Geschwindigkeiten der Strömungen am Ufer in Kurven aufgetragen. Die am Schiff im Bereich der Wasserlinie sich abzeichnenden Kurven, welche von den Bugwellen vorn beginnend, hinten dort endigen, wo die Heckwelle das Schiff verlässt, sind im Verein mit der gestrichelten Wasserlinie *e e* dargestellt. An diesen Wasserlinien erkennt man die Lage der Schiffe zu der Wasserlinie in der Ruhelage zugleich auch, ob das Schiff während der Fahrt vorn oder hinten am tiefsten eingesenkt war. Die Strecken hinter den Schiffen bestätigen das, was gelegentlich der Beschreibung der *Tafeln 1—46* über den Wasserausgleich im Kanal am Ufer hinter den Schiffen gesagt ist.

Ferner geben die *Tafeln 49—70* dasjenige an, was unter der Kanalwasserlinie im Bereich der Schiffe vorgeht. Von jedem dargestellten Versuch giebt die Kurve *ff* in ihren Ordinaten die Querschnitte der Einsenkung und den Inhalt des durch sie, die Wasserlinie und die gestrichelten senkrechten Linien, welche die Länge des Schiffes bezeichnen, eingeschlossene Ebene an. Ferner sind in den Ordinaten der Kurven *dd* die mittleren Geschwindigkeiten in den ihrem Ort entsprechenden, zwischen Schiff, Kanalbett und Einsenkung verbleibenden Querschnitte gegeben.



An der Form dieser Kurven erkennt man den Einfluss, welchen die Schiffstform und die Verschiedenheit der Kanalquerschnitte auf sie haben. Auf *Tafel 49, Fig. 1—4* entsprechen die Kurven *dd* und *ff* der keilförmigen Schiffstform des Goedhart, in *Fig. 5* ähneln sie mehr der Löffelform des Dortmund, welche sich auch in der Wasserlinie *bb* am Schiff ausdrückt. Letzteres gilt von allen Zeichnungen, welche Dortmund oder Emden darstellen, während die vom Lloydkahn mehr seiner Keilform ähnlich sind.

Die Kurven *dd* und *ff* zeigen in ihrem Verlauf meistens Störungen, die in Ein- oder Ausbiegungen bestehen. An den Stellen werden die Ordinaten kürzer oder länger und geben damit kleinere oder grössere Geschwindigkeiten in den betreffenden Querschnitten an. Diese entstehen aus der Ungleichheit der Kanalquerschnitte und zeigen zugleich ihren Einfluss auf den Schiffswiderstand, wie später ausgeführt werden wird.

Besonders deutlich zeigen dies die *Tafeln 50, Fig. 4* und *6, Tafel 51, Fig. 1, Tafel 53, Fig. 2, 3, 4* und *5, Tafel 55, Fig. 2, Tafel 57, Fig. 4* u. a. m.

Zu beachten sind auch die Figuren, in denen der Schleppdampfer mit der Strecke zwischen ihm und dem geschleppten Schiff gezeigt wird. Es sind die *Tafeln 55, 57, 58, 60, 65, 67, Fig. 1—3* und *5, sowie 69, Fig. 3* und *5*. Alle deuten auf vollständige Ruhe des Wassers im Kanal vor dem Schiff hin und die Strecke hinter Goedhart zeigt in den meisten Fällen, dass der Wasserstand am Ufer demjenigen der Ruhe wieder gleich geworden, also der Ausgleich des Wassers dort schon vor dem geschleppten Schiff wieder erreicht ist.

Die hier nicht besonders angeführten Tafeln dienen anderen Zwecken und die Darstellungen darauf werden an den Stellen erläutert, zu denen sie gehören. Die mancherlei Einzelheiten der Zeichnungen und Bilder, welche hier nicht besonders erwähnt wurden, werden leicht gefunden werden. Sollten, wie zu hoffen, noch andere Folgerungen, wie die hier erläuterten, aus den Tafeln gezogen werden, so wird dadurch der Zweck erfüllt, welcher die Anfertigung und Veröffentlichung dieser Tafeln hauptsächlich veranlasst hat.

3. Tabellen. Die Abtheilung I der Tabellen enthält Angaben, welche sämmtlich auf den *Tafeln 49—70* verzeichnet sind. Auch Abtheilung II ist hauptsächlich eine Zusammenstellung der auf den Tafeln stehenden Zahlen. Nur die Werthe in Spalte 16 sind durch Addition derjenigen in Spalte 10 und 14 entstanden. Die nach den Angaben des Dynamometers bestimmten Zugkräfte der Spalte 17 wurden den Zusammenstellungen der einzelnen Versuche entnommen, aus ihnen und denen der Spalte 4 sind die Zugleistungen oder effectiven Pferdestärken *N* der Spalte 18 errechnet. Die in Abtheilung III aufgeführten Zahlen sind theils durch Umrechnung entstanden, theils ganz neu errechnet, ihre Herleitung soll in Folgendem nachgewiesen werden.

Für Goedhart und Dortmund allein fahrend fehlen in Tabelle 1 und 2 selbstverständlich die Zahlen in Spalte 17 und 18. Dasselbe gilt für Tabelle 5 von den unter



I.											
Lfd. No.	Datum des Versuches 1898	No.	Tiefgang	Ge- schwindig- keit	Wasserstand über NN.	Schiffslage zur Kanalmitte				Displacement	Länge des Schiffes in der Wasserlinie
						E M L vorn nach		E M L hinten nach			
			T	G		Back- bord	Steuer- bord	Back- bord	Steuer- bord	D	L
			m	m/sec	m	m	m	m	m	cbm	m
			3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>1. Goedhart</b>											
1	16. 7. I.	2	1, <sup>08</sup> / <sub>88</sub>	1,56	21,04	0,81			1,21	90,6	20,75
2	16. 7. II.	2	1, <sup>08</sup> / <sub>88</sub>	1,66	21,06	0,28			0,48	90,6	20,75
3	16. 7. III.	3	1, <sup>08</sup> / <sub>88</sub>	2,36	21,09	0,02			1,53	90,6	20,75
4	16. 7. IV.	3	1, <sup>08</sup> / <sub>88</sub>	2,70	21,07		0,48		0,48	90,6	20,75
<b>2. Dortmund</b>											
1	15. 6.	1	1,50	1,10	21,09		2,43		2,66	690	64,50
2	15. 6.	1	1,50	1,25	21,09		0,70		1,22	690	64,50
3	15. 6.	2	1,50	1,41	21,10		0,78		0,39	690	64,50
4	15. 6.	2	1,50	1,72	21,10		0,50	0,10		690	64,50
5	15. 6.	1	1,50	1,77	21,10		0,90		0,70	690	64,50
6	18. 6.	2	1,75	1,02	21,11		1,87		1,97	815	65,10
7	18. 6.	4	1,75	1,18	21,10		0,53		0,53	815	65,10
8	28. 6.	4	1,75	1,56	21,05	0,07		0,69		815	65,10
9	30. 6.	9	1,75	1,67	21,14		1,31		1,54	815	65,10
10	2. 7.	1	2,00	0,98	21,11		0,35	0,47		944	65,60
11	2. 7.	7	2,00	1,25	21,09		1,22		0,39	944	65,60
12	4. 7.	4	2,00	1,42	21,13		0,50	0,95		944	65,60
13	7. 7.	1	2,25	0,56	21,13	1,22		2,26		1070	66,00
14	7. 7.	1	2,25	0,79	21,12	1,10		2,00		1070	66,00
15	7. 7.	1	2,25	1,04	21,13		0,60	0,39		1070	66,00
16	9. 7.	6	2,25	1,22	21,10		0,07	1,22		1070	66,00

\* Unrichtige Messung der J. P. S.



II.								III.				
Mittlere negative Stromgeschwindigkeit	Mittlerer Ein-senkungs-Querschnitt	Ein-senkung	Bewegte Wasser-masse	Ein-senkung + Deplac-ment	Im Schlepp-tau ge-messener Wider-stand	Zug-leistung	Indicirte Maschinen-leistung	Mittlere negative Stromge-schwindigkeit	Summe aus Spalte 20 und 4	Erfahrungs-koëfficient	Er-rechneter Wider-stand	Lfd. No.
v	$\Delta Q$	$\Delta Q \cdot L$	$(Q - \Delta Q) \cdot L - D$	$\Delta Q \cdot L + D$	W	N		$v_1$	$v_1 + G$	$\zeta$	$W_1$	
m/sec	qm	cbm	cbm	cbm	kg	E. P. S.	I. P. S.	m/sec	m/sec		kg	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	

## allein fahrend.

0,158	0,64	13,2	1096,2	103,8			8,5	0,148	1,708	0,000 550	57	1
0,181	0,90	18,6	1104,3	108,6			11,5	0,163	1,823	0,000 650	71	2
0,376	2,44	67,8	1073,0	158,4			22,5	0,348	2,708	0,001 562	247	3
0,602	5,54	114,6	1006,8	205,2			52,5	0,550	3,250	0,002 230	458	4

## allein fahrend.

0,299	1,43	92,0	3049	782,0			22,9*	0,282	1,382	0,000 346	271	1
0,351	1,97	127,0	3013	817,0			19,3*	0,339	1,589	0,000 484	395	2
0,417	2,58	166,6	3002	856,6				0,402	1,812	0,000 650	557	3
0,585	4,03	260,0	2929	950,0				0,558	2,278	0,001 104	1049	4
0,644	4,97	320,6	2882	1010,6				0,621	2,391	0,001 225	1238	5
0,325	1,69	110,0	3034	925,0			20,6	0,311	1,331	0,000 440	407	6
0,398	2,06	134,2	2951	949,2			32,0	0,380	1,560	0,000 600	570	7
0,659	4,32	281,0	2677	1096,0				0,639	2,199	0,001 144	1254	8
0,753	6,05	394,0	2771	1209,0				0,729	2,399	0,001 360	1644	9
0,378	1,68	110,6	2922	1054,6			26,9	0,354	1,334	0,000 474	500	10
0,563	3,65	239,6	2736	1183,6				0,541	1,791	0,000 818	968	11
0,663	4,55	298,4	2767	1242,4				0,638	2,058	0,001 048	1302	12
0,226	0,59	39,4	2897	1109,4			9,6	0,214	0,774	0,000 200	222	13
0,336	1,44	94,8	2801	1164,8			26,0	0,329	1,119	0,000 390	454	14
0,488	2,55	168,4	2781	1238,4				0,463	1,503	0,000 710	879	15
0,662	3,98	262,6	2592	1332,6			87,3	0,627	1,847	0,001 130	1506	16



I.											
Lfd. No.	Datum des Versuches. 1898	No.	Tiefgang	Ge- schwindig- keit	Wasserstand über NN.	Schiffslage zur Kanalmitte				Displacement	Länge des Schiffes in der Wasserlinie
						E M L vorn nach		E M L hinten nach			
			T m	G m/sec	m	Back- bord m	Steuer- bord m	Back- bord m	Steuer- bord m	D cbm	L m
			3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>3. Emden von</b>											
1	9. 5.	2	1,50	1,02	21,10	0,75			0,30	690	64,50
2	9. 5.	4	1,50	1,24	21,11	1,90		1,87		690	64,50
3	10. 5.	7	1,50	1,48	21,03	1,91		1,47		690	64,50
4	10. 5.	8	1,50	1,70	21,05	1,91		0,47		690	64,50
5	10. 5.	9	1,50	2,00	21,06	1,91		0,47		690	64,50
6	14. 5.	1	1,75	0,96	21,09		1,77		1,45	815	65,10
7	14. 5.	5	1,75	1,23	21,09		0,26		1,44	815	65,10
8	17. 5.	5	1,75	1,54	21,04	0,25		0,17		815	65,10
9	18. 5.	3	1,75	1,75	21,06		0,90	0,31		815	65,10
10	20. 5.	4	1,75	1,83	21,06		2,05		2,01	815	65,10
11	25. 5.	3	2,00	1,02	21,05	2,30		2,27		944	65,60
12	24. 5.	2	2,00	1,27	21,06	1,03		2,37		944	65,60
13	26. 5.	2	2,00	1,54	21,11	1,30		1,17		944	65,60
14	27. 5.	7	2,00	1,63	21,09	1,10		0,37		944	65,60
15	2. 6.	4	2,25	1,04	21,10	1,30		0,97		1070	66,00
16	3. 6.	4	2,25	1,18	21,09	0,50		2,83		1070	66,00
<b>4. Lloydkahn von</b>											
1	24. 8	1	1,75	1,14	21,09	1,61		0,47		578	55,00
2	24. 8	1	1,75	1,43	21,11	1,21			0,13	578	55,00
3	24. 8	1	1,75	1,80	21,10	0,06		1,10		578	55,00
4	25. 8	2	1,75	2,00	21,08	0,52		1,32		578	55,00
5	17. 8	1	2,00	0,92	21,11	1,14		0,73		672	55,00
6	17. 8	1	2,00	1,33	21,03	0,63		1,10		672	55,00
7	18. 8	3	2,00	1,77	21,04	2,30		1,31		672	55,00
8	18. 8	3	2,00	1,85	21,07	2,58		2,88		672	55,00
9	20. 8	1	2,25	1,01	21,06		0,49	0,27		774	55,00
10	20. 8	1	2,25	1,27	21,04	0,91		2,47		774	55,00



II.								III.			
Mittlere negative Stromgeschwindigkeit	Mittlerer Ein-senkungs-Querschnitt	Ein-senkung	Bewegte Wasser-masse	Ein-senkung + Displacement	Im Schlepptau gemessener Widerstand	Zug-leistung	Indicirte Maschinen-leistung	Mittlere negative Stromgeschwindigkeit	Summe aus Spalte 20 und 4	Er-fahrungs-koëfficient	Lfd. No.
v	$\Delta Q$	$\Delta Q \cdot L$	$(Q - \Delta Q) \cdot L - D$	$\Delta Q \cdot L + D$	W	N		v <sub>1</sub>	v <sub>1</sub> + G	$\zeta$	
m/sec	qm	cbm	cbm	cbm	kg	E. P. S.	I. P. S.	m/sec	m/sec		
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	

## Goedhart geschleppt.

0,244	0,96	60,6	3139	750,6	222	3,02		0,244	1,264	0,000 296	1
0,331	1,71	110,0	3135	800,0	251	4,15	18,8	0,316	1,556	0,000 314	2
0,455	2,72	175,3	2940	865,3	614	12,12	48,9	0,436	1,916	0,000 710	3
0,593	4,21	271,5	2890	961,5	959	21,74	83,2	0,566	2,266	0,000 997	4
0,850	6,75	435,0	2697	1125,0	1796	47,89	168,6	0,834	2,834	0,001 596	5
0,278	0,91	59,2	3041	874,2	329	4,21	18,5	0,276	1,236	0,000 376	6
0,415	2,20	143,2	2948	958,2	666	10,92		0,400	1,630	0,000 695	7
0,595	3,32	216,0	2888	1031,0	1055	21,66	73,1	0,550	2,090	0,001 023	8
0,793	5,26	341,9	2660	1156,9	1678	39,15	138,3	0,761	2,511	0,001 450	9
0,838	5,25	341,2	2662	1156,2	1849	45,12	155,5	0,795	2,625	0,001 599	10
0,404	1,60	104,8	2672	1048,8	545	7,41	29,6	0,400	1,420	0,000 520	11
0,532	3,02	198,2	2753	1142,2	919	15,56	56,8	0,527	1,797	0,000 805	12
0,740	3,48	328,0	2738	1272,0	1563	32,09	111,8	0,715	2,255	0,001 229	13
0,888	7,20	471,6	2535	1415,6	1965	42,71	157,8	0,910	2,540	0,001 388	14
0,501	2,62	172,7	2685	1242,7	879	12,19	55,2	0,481	1,521	0,000 707	15
0,604	3,30	218,0	2617	1288,0	1342	21,11	101,1	0,581	1,761	0,001 042	16

## Goedhart geschleppt.

0,295	0,78	42,6	2601	620,6	312	4,74	15,9	0,272	1,412	0 000 500	1
0,423	2,07	114,0	2518	692,0	534	10,18	35,9	0,393	1,823	0,000 772	2
0,679	4,56	250,8	2405	828,8	1023	24,55	81,0	0,620	2,420	0,001 234	3
0,828	6,41	352,6	2472	930,6	1765	47,07	153,5	0,753	2,753	0,001 897	4
0,307	1,59	87,4	2494	759,4	296	3,63	14,1	0,280	1,200	0,000 390	5
0,536	3,06	168,3	2254	840,3	639	11,33	38,9	0,496	1,826	0,000 760	6
0,869	5,36	295,0	2161	967,0	1470	34,69	117,4	0,792	2,562	0,001 520	7
1,030	7,55	415,2	2112	1087,2	2132	52,59	193,4	0,952	2,802	0,001 961	8
0,431	2,06	113,3	2301	887,3	473	6,36	29,4	0,389	1,399	0,000 533	9
0,546	2,13	117,0	2252	891,0	975	16,51	62,1	0,502	1,772	0,001 094	10



I.												
Lfd. No.	Datum des Versuches 1898	No.	Tiefgang	Ge- schwindig- keit	Wasserstand über NN.	Schiffslage zur Kanalmitte				Displacement	Länge des Schiffes in der Wasserlinie	
						E M L vorn nach		E M L hinten nach				
			T m	G m/sec	m	Back- bord m	Steuer- bord m	Back- bord m	Steuer- bord m	D cbm	L m	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>5. Emden von</b>												
<b>Dortmund.</b>												
1	12. 8.	4	1,50	1,44	21,10	0,61		0,47		690	64,50	
2	30. 7.	2	1,75	1,22	21,13	1,51		1,87		815	65,10	
3	20. 7.	1	2,00	1,05	21,11	0,21				944	65,60	
4	13. 6.	1	1,50	0,59	21,09	0,13		0,17		690	64,50	
5	13. 6.	1	1,50	0,91	21,09	1,91		2,27		690	64,50	
6	13. 6.	2	1,50	1,04	21,11	1,91		1,37		690	64,50	
<b>Emden.</b>												
1	12. 8.	4	1,50	1,44	21,10	1,11		1,47		690	64,50	
2	30. 7.	2	1,75	1,22	21,13	4,01		3,27		815	65,10	
3	20. 7.	1	2,00	1,05	21,11	1,51		1,87		944	65,60	
4	13. 6.	1	2,25	0,59	21,09	2,69		1,87		1070	66,00	
5	13. 6.	1	2,25	0,91	21,09	2,91		4,57		1070	66,00	
6	13. 6.	2	2,25	1,04	21,11	1,91		2,04		1070	66,00	
<b>6. Emden und Dortmund</b>												
1	E.	5. 8.	1	1,50	1,06	21,12		0,64		0,20	690	64,50
	D.	5. 8.	1	1,50	1,06	21,12		1,78		0,18	690	64,50
2	E.	6. 8.	1	1,50	1,30	21,12	1,28		1,40		690	64,50
	D.	6. 8.	1	1,50	1,30	21,12	0,52		1,24		690	64,50
3	E.	6. 8.	1	1,50	1,49	21,09		0,51		0,50	690	64,50
	D.	6. 8.	1	1,50	1,49	21,09		2,24		1,24	690	64,50
4	E.	6. 8.	1	1,50	1,85	21,12	0,67		2,14		690	64,50
	D.	6. 8.	1	1,50	1,85	21,12	0,14		1,24		690	64,50



II.								III.				
Mittlere negative Stromgeschwindigkeit	Mittlerer Ein-senkungs-Querschnitt	Ein-senkung	Bewegte Wassermasse	Ein-senkung + Displacement	Im Schlepp-tau gemessener Widerstand	Zug-leistung	Indicirte Maschinen-leistung	Mittlere negative Stromgeschwindigkeit	Summe aus Spalte 20 und 4	Erfahrungs-koeffizient	Er-rechneter Wider-stand	Lfd. No.
v	$\Delta Q$	$\Delta Q \cdot L$	$(Q - \Delta Q) \cdot L - D$	$\Delta Q \cdot L + D$	W	N		v <sub>1</sub>	v <sub>1</sub> + G	$\zeta$	W <sub>1</sub>	
m/sec	qm	cbm	cbm	cbm	kg	E. P. S.	I. P. S.	m/sec	m/sec		kg	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	

## Dortmund geschleppt.

## Dortmund.

0,491	3,15	202,9	2644	892,9			96,7	0,486	1,926	0,000750	670	1
0,406	1,88	121,9	2845	936,9			101,8	0,402	1,622	0,000640	600	2
0,404	1,71	112,1	2818	1056,1			97,6	0,394	1,445	0,000540	570	3
0,146	0,34	21,8	3047	711,8			16,3	0,138	0,728	0,000076	54	4
0,230	1,54	99,3	3152	789,3				0,228	1,138	0,000220	174	5
0,285	1,92	123,4	3080	813,4				0,275	1,315	0,000310	252	6

## Emden.

0,531	3,64	232,4	2619	922,4	670	12,86		0,507	1,947	0,000726		1
0,392	1,71	111,0	2856	926,0	675	10,98		0,396	1,616	0,000729		2
0,413	1,84	120,8	2850	1064,8	650	9,10		0,393	1,443	0,000610		3
0,238	0,27	18,1	2817	1088,1	190	1,49		0,228	0,818	0,000175		4
0,446	1,90	125,0	2717	1195,0	640	7,77		0,400	1,310	0,000536		5
0,498	2,38	157,0	2730	1227,0	879	12,19		0,467	1,507	0,000716		6

## von Goedhart geschleppt.

0,273	1,12	72,0	3048	762,0	228	3,22		0,265	1,325	0,000299		E. 1
0,264	0,87	55,8	3059	745,8	224	3,17		0,258	1,318	0,000300		D. 1
					452	6,39	34,9					
0,367	1,93	124,2	2998	814,2	529	9,17		0,353	1,653	0,000650		E. 2
0,366	2,04	131,4	3021	821,4	533	9,24		0,353	1,653	0,000649		D. 2
					1062	18,41	68,5					
0,438	2,33	150,6	2953	840,6	700	13,91		0,424	1,914	0,000833		E. 3
0,452	2,69	173,4	2904	863,4	718	14,26		0,443	1,933	0,000832		D. 3
					1418	28,17	113,5					
0,547	2,77	178,4	3018	868,4	1032	25,46		0,532	2,382	0,001188		E. 4
0,563	3,23	208,4	2990	898,4	1067	26,32		0,556	2,406	0,001188		D. 4
					2099	51,78	191,7					



I.												
Lfd. No.	Datum des Versuches 1898	No.	Tiefgang	Geschwindigkeit	Wasserstand über NN.	Schiffslage zur Kanalmitte				Displacement	Länge des Schiffes in der Wasserlinie	
						E M L vorn nach		E M L hinten nach				
			T m	G m/sec		Back- bord m	Steuer- bord m	Back- bord m	Steuer- bord m	D cbm	L m	
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	
5	E.	27. 7.	2	1,75	0,54	21,08	0,76		1,67		815	65,10
	D.	27. 7.	2	1,75	0,54	21,08	1,44		1,98		815	65,10
6	E.	27. 7.	2	1,75	1,05	21,09	1,88		1,60		815	65,10
	D.	27. 7.	2	1,75	1,05	21,09	1,14		2,79		815	65,10
7	E.	28. 7.	5	1,75	1,23	21,13		1,77		2,01	815	65,10
	D.	28. 7.	5	1,75	1,23	21,13		2,88		3,69	815	65,10
8	E.	29. 7.	3	1,75	1,48	21,12	0,76		1,84		815	65,10
	D.	29. 7.	3	1,75	1,48	21,12		0,00		0,14	815	65,10
9	E.	15. 7.	2	2,00	1,10	21,08	1,88		2,26		944	65,60
	D.	15. 7.	2	2,00	1,10	21,08	1,88		2,54		944	65,60
10	E.	15. 7.	2	2,00	1,20	21,09	2,58		3,08		944	65,60
	D.	15. 7.	2	2,00	1,20	21,09	4,40		0,22		944	65,60
11	E.	11. 7.	2	2,25	0,56	21,13	0,53		2,14		1070	66,00
	D.	11. 7.	2	2,25	0,56	21,13		2,44		1,00	1070	66,00
12	E.	11. 7.	1	2,25	0,70	21,10	2,58		1,40		1070	66,00
	D.	11. 7.	1	2,25	0,70	21,10	1,44			0,52	1070	66,00

Dortmund aufgeführten Zahlen. In den Tabellen 3 und 4 sind die Spalten 17, 18 und 19 mit den Versuchszahlen ausgefüllt. Tabelle 6 giebt in den Spalten 17, 18 und 19 die Zugkraft im Schlepptau, die daraus errechnete Zugleistung, sowie die I. P. S. für Emden und Dortmund zusammen an, errechnet sind die für jedes der Schiffe angegebenen Werthe. Wo die Zahlen in Spalte 19 fehlen, waren die dafür erhaltenen Angaben nicht zuverlässig. Die Spalte 20 der Tabellen 1 und 2 ist mit den für  $v_1$  nach der Formel



II.								III.				
Mittlere negative Stromgeschwindigkeit	Mittlerer Ein-senkungs-Querschnitt	Ein-senkung	Bewegte Wasser-masse	Ein-senkung + Deplacement	Im Schlepp-tau gemessener Wider-stand	Zug-leistung	Indicirte Maschinen-leistung	Mittlere negative Stromge-schwindigkeit	Summe aus Spalte 20 und 4	Erfahrungs-koëfficient	Er-rechneter Wider-stand	Lfd. No.
v	$\Delta Q$	$\Delta Q \cdot L$	$(Q - \Delta Q) \cdot L - D$	$\Delta Q \cdot L + D$	W	N		$v_1$	$v_1 + G$	$\zeta$	$W_1$	
m/sec	qm	cbm	cbm	cbm	kg	E. P. S.	I. P. S.	m/sec	m/sec		kg	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
0,159	0,13	8,4	2065	823,4	168	1,21		0,150	0,690	0,000 204		E.
0,160	0,16	10,4	2065	825,4	169	1,21		0,150	0,690	0,000 204		D.
					337	2,43	7,5					
0,314	0,54	35,2	2050	850,2	406	5,68		0,302	1,352	0,000 478		E.
0,327	0,95	62,0	2920	877,0	419	5,87		0,315	1,365	0,000 478		D.
					825	11,55	55,4					
0,397	1,58	102,8	2976	917,8	572	9,38		0,380	1,610	0,000 623		E.
0,424	2,21	144,0	2947	959,0	598	9,81		0,400	1,630	0,000 624		D.
					1170	19,19	96,0					
0,514	2,52	163,6	2948	978,6	814	16,06		0,491	1,971	0,000 832		E.
0,535	3,27	212,6	2855	1027,6	854	16,85		0,533	2,013	0,000 832		D.
					1668	32,91	158,0					
0,426	1,31	86,0	2829	1030,0	600	8,80		0,405	1,505	0,000 583		E.
0,438	1,57	103,0	2822	1047,0	610	8,95		0,408	1,508	0,000 583		D.
					1210	17,75	83,4					
0,500	2,23	146,2	2827	1090,2	833	13,33		0,463	1,663	0,000 764		E.
0,511	2,85	187,0	2780	1131,0	865	13,84		0,488	1,688	0,000 765		D.
					1698	27,17	155,6					
0,227	0,75	49,8	2948	1119,8	188	1,40		0,213	0,773	0,000 168		E.
0,223	0,78	51,2	2947	1121,2	189	1,41		0,213	0,773	0,000 169		D.
					377	2,81	20,3					
0,288	0,65	42,8	2876	1112,8	494	4,61		0,271	0,971	0,000 444		E.
0,302	1,20	79,2	2846	1149,2	511	4,77		0,283	0,983	0,000 445		D.
					1005	9,38	60,9					

$$v_1 = \frac{\Delta Q + q}{Q - \Delta Q - q} \cdot G$$

errechneten Zahlen gefüllt. Spalte 21 enthält die Summe der Zahlen aus Spalte 4 und 20. Das  $\zeta$  in 22 ist aus den Kurven der Beilage II, Fig. 2 und 4 abgemessen worden. Der Widerstand  $W_1$  in Spalte 23 wurde durch Rechnung nach der in Abschnitt V, A dafür entwickelten Formel bestimmt.



In den Tabellen 3 und 4 enthält die Abtheilung III Werthe, von denen die in Spalte 20 und 21 ebenso ermittelt wurden, wie die für die Tabellen 1 und 2. Die  $\zeta$  in Spalte 22 sind nach der Formel

$$\zeta = \frac{W}{\Delta Q \cdot L + D}$$

errechnet und zur Zusammenstellung der Kurven auf Beilage II, *Fig. 2, 3* und *4* benutzt worden. *Fig. 1* der Beilage II ist aus den  $\Delta Q$  der Spalte 13 der Tabellen 3 und 4 gebildet, indem die  $\Delta Q$  als Ordinaten, die  $v_1$  als Abscissen aufgetragen wurden.

Die Zahlen der Spalten 20 und 21 der Tabelle 5 sind wie die der vorhergehenden entstanden. Spalte 22 enthält die für Dortmund von Beilage II, *Fig. 2* abgemessenen  $\zeta$  und in 23 aus diesen und den Werthen in Spalte 16 errechneten Widerstände. Für Emden sind die  $\zeta$  aus den gemessenen Zugkräften (Spalte 17) nach der angegebenen Formel errechnet.

In Abtheilung III der Tabelle 6 enthält Spalte 20 die in oben angegebener Weise errechneten  $v_1$  und in 22 die errechneten  $\zeta$ . Letztere sowie die der Tabelle 5 passen annähernd in die Kurve Beilage II, *Fig. 2* hinein und beweisen damit ihre Zuverlässigkeit.

Besser als die auf den *Tafeln 71, 72* und *73* befindlichen Kurven der Zugkräfte und indicirten Pferdestärken eignen sich die Tabellen zu Vergleichen der dafür verzeichneten Werthe unter einander und mit den für den Widerstand errechneten.

#### D. Durch die Fortbewegung der Schiffe erzeugte Strömungen.

1. Strömungen im Kanal als Folge der Schiffsbewegung. Auf den Tafeln der Lichtdruckbilder No. 1 bis 46 zeigen die Pendel am Ufer während das Schiff die Beobachtungsstrecke durchfährt, negative\*) Strömungen, die kurz vor dem Schiff beginnen, ungefähr bis zur Mitte seiner Länge zunehmen und dann gegenüber dem Hinterschiff auf 0 zurückgehn. In der Strecke hinter dem Schiff deuten die Pendel mit ihrem Ausschlag nach links positive Strömung an und sowohl diese, als die negative, wachsen mit der Schiffsgeschwindigkeit, sowie mit dem Tiefgang der Schiffe. Die annähernde Stärke der Strömungen ergibt sich aus den Kurven der Pegelstände *a a* und der Geschwindigkeiten *c c*, welche letzteren jedoch, soweit sie negativ sind, ohne Berücksichtigung der Reibung an den Böschungen etc. errechnet wurden und deshalb nur zu Vergleichen verwendbar sind.

Zwischen den Schiffsseiten und den Ufern des Kanals, sowie über dessen Sohle fließt das Wasser nur in negativer Richtung, d. h. von vorn nach hinten, seine Geschwindigkeit wird durch die Reibung an den Schiffswänden verzögert. Hierüber wurden

\*) Hier und in der Folge heisst der in der Richtung des Schiffes fließende Strom „positiv“, der entgegengesetzte „negativ“.



während der Versuche Messungen mittels des Woltmann'schen Flügels angestellt, die leider nicht an mehreren Stellen gleichzeitig ausgeführt werden konnten, weil dazu anstatt des einen zur Verfügung stehenden Flügels wenigstens vier nothwendig gewesen wären, die sich in dem Augenblick nicht herbeischaffen liessen, als das Bedürfniss erkannt wurde. Versuche, vermittels der Pendel die Stromgeschwindigkeit der Schiffe zu messen, lieferten keine zuverlässigen Resultate.

Die Messungen am Schiff wurden in der Gegend der Poller vorgenommen, die auf den Lichtbilder-Tafeln 2 und 10 erkennbar sind und der Reihe nach von vorn nach hinten mit I, II, III und IV bezeichnet sind. Nachstehende Tabelle giebt die sämtlichen Messungen dieser Art an.

Da jedesmal nur eine Messung vorgenommen werden konnte, so sind nur die unterstrichenen mittleren negativen Geschwindigkeiten der Spalte 6 mit den daneben stehenden der Spalte 5 zu vergleichen, denn nur für diese sind die negativen Geschwindigkeiten in Spalte 6 berechnet. Die übrigen Werthe in Spalte 6 sind solchen Versuchen entnommen, welche annähernd dieselben Schiffsgeschwindigkeiten erreicht hatten, wie die zugehörigen in Spalte 3 genannten. Der nachstehende Vergleich zwischen Spalte 5 und 6 ist deshalb nur ein annähernder.

1.	2.	Geschwindigkeiten.					
		3.	4.	5.	6.		
Datum der Messung	Stelle wo gemessen wurde	der Schiffe	mit dem Flügel gemessen	Differenz zwischen beiden	mittlere negative		
1898.	No.	m/sec.	m/sec.	m/sec	m/sec.		
Dortmund alleinfahrend	23./7.	I	1,47	2,02	0,55	0,53	
	"	I	1,55	1,98	0,43	0,53	
	"	III	1,53	2,04	0,51	0,65	
	"	III	1,52	1,69	0,17	0,65	
	"	IV	1,48	1,95	0,47	0,60	
	"	IV	1,51	2,12	0,61	0,60	
Emden und Dortmund von Goedhart geschleppt	Dortmund	27./7.	I	1,05	1,32	0,27	<u>0,33</u>
		"	IV	0,54	0,63	0,09	<u>0,16</u>
		"	IV	0,95	1,18	0,23	0,25
		28./7.	I	1,23	1,43	0,20	<u>0,42</u>
	"	II	1,26	1,55	0,29	0,44	
	"	III	1,27	1,41	0,14	0,50	
	"	IV	1,25	1,65	0,40	0,50	
	Emden	29./7.	I	1,52	2,82	1,30	0,55
"		IV	1,48	2,35	0,87	<u>0,51</u>	

Die in Spalte 5 aufgeführten Differenzen zwischen den Zahlen in Spalte 3 und 4 sind die Maasse der negativen Geschwindigkeiten, welche zur Zeit ihrer Feststellung an den betreffenden Stellen gefunden wurden. Sie sind noch etwas von der Reibung des



Wassers an der benetzten Oberfläche des Schiffes beeinflusst und zeigen fast überall, dass sie den negativen Stromgeschwindigkeiten vorn und hinten bei I und IV nahezu gleich sind, nur die der untersten Zeile sind sehr verschieden, wofür sich hier ein Grund nicht angeben lässt. Hiernach darf man annehmen, dass die negative Geschwindigkeit an den Schiffsseiten am kleinsten ist, wo sie am Ufer am grössten, d. i. in der Mitte der Schiffslänge, und umgekehrt vorn und hinten am grössten, wo sie am Ufer am kleinsten ist. Dasselbe beweisen die Wasserlinien der meisten Zeichnungen auf *Tafel 48 bis 70*, welche vorn und hinten bei e durch ihre Senkung die grösste Geschwindigkeit andeuten. Dagegen zeigen die Pegel am Ufer, der Mitte des Schiffes gegenüber, fast immer den tiefsten Stand.

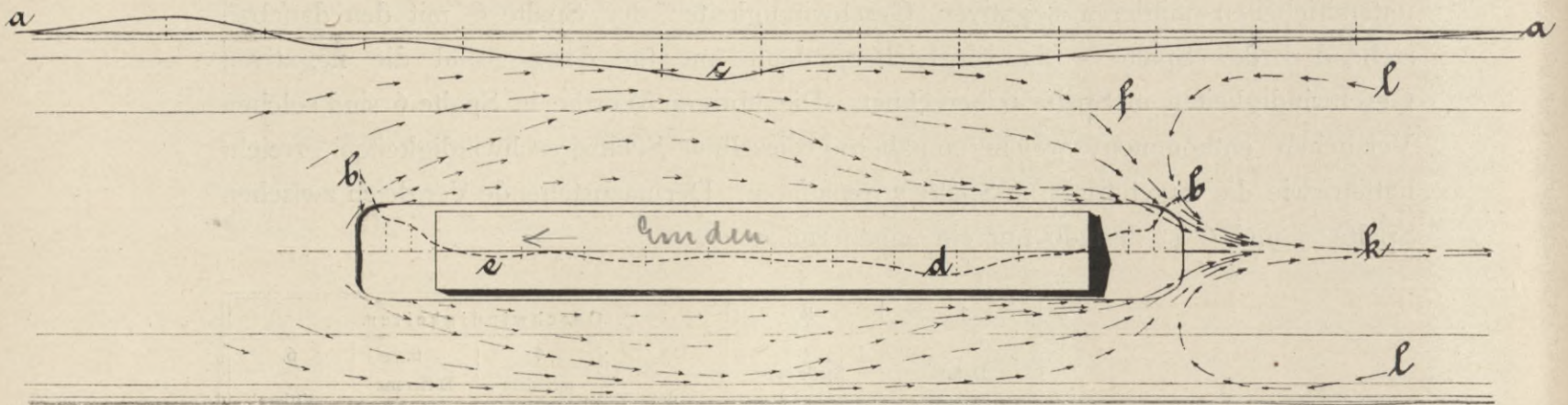


Fig. 15.



Fig. 16.

Die Strömungen, welche bei der Fortbewegung der Schiffe erzeugt werden, erleiden weitere Verzögerung durch die Reibungen an der Kanalsohle und an den Böschungen, sowie durch die Reibung der Wassertheilchen untereinander, die in gewissem Sinne als eine Verengung des Durchflussprofils betrachtet werden kann. Die Ueberwindung dieser Reibungswiderstände erfordert nach der Theorie der Wasserbewegung in Flussbetten eine Vermehrung der Wassergeschwindigkeit.



Die *Textfiguren 15* und *16* veranschaulichen die Strömungen, die bei Emden von Goedhart geschleppt und Dortmund alleinfahrend an der Wasseroberfläche zur Erscheinung kommen. Die längeren Pfeile bezeichnen die Stellen, an denen das Wasser schneller fliesst. *a c a* stellt die Wasserlinie an den schrägliegenden Böschungen, *b e d b* die Wasserlinie an den Schiffen dar, die ebenso wie die Pfeile die Unterschiede zwischen einem geschleppten und einem durch eigene Maschine fortbewegten Schiff erkennen lassen. Die tiefsten Stellen sowohl am Ufer, als am Schiff bei *c* und *d* der Figuren liegen bei Emden weiter nach vorn, als bei Dortmund, weil die Schraube am Hinterende des Dortmund eine grössere Wassergeschwindigkeit erzeugt, als sich bei dem geschleppten Schiff bilden kann. Alle die verschiedenen, von beiden Seiten des Schiffes am Hinterende ankommenden Ströme vereinigen sich dort in dem Kielwasser *k*, dessen Länge nach hinten hinaus mit der Schiffsgeschwindigkeit zunimmt und welches, auf seinem Wege, sowie an dessen Ende sich theilend, nach beiden Seiten abfliesst und als positiver Strom *l* zurückfliesst.

Aehnliche Strömungen müssen unter der Oberfläche des Wassers und unter dem Schiffsboden bis auf die Kanalsohle hinunter vorkommen, deren Geschwindigkeit den obwaltenden Umständen entsprechend abnimmt und deren Richtungen ebenfalls dadurch beeinflusst werden. Alle vereinigen sich hinten in dem Kielwasser *k*, dessen Tiefe unter der Wasseroberfläche weiter nach hinten zu stetig abnimmt und dort *o* wird, wo seine negative Geschwindigkeit aufhört, d. h. wo der Wasserspiegel im Kanal wieder die Höhe angenommen hat, welche er vor Ankunft des Schiffes hatte.

Das Abfallen des Wassers an den Ufern und Böschungen von *a* bis *c* und das Wiederansteigen bis *a* wiederholt sich in kleinerem Masse weiter hinten noch einige Mal. Dieses Abfallen und Wiederaufsteigen des Wassers sind Folgen der Wellenbewegung an der Oberfläche. Das dadurch entstehende Aus- und Einlaufen in die Zwischenräume der Böschungsbefestigungen ist für die Ufer mehr von Nachtheil, als die Strömungen bei denjenigen Schiffsgeschwindigkeiten, die bei der Kanalschiffahrt überhaupt in Betracht kommen.

2. Wirkungen der Strömungen. Die Wirkung der Strömungen auf Kanalsohle und Böschungen wurde durch Peilungen nach je 10 bis 16 Versuchsfahrten festgestellt. Die erste Peilung fand am 7. Mai, die letzte am 26. August, nach Beendigung sämtlicher Versuchsfahrten, statt.

Zwischen den ersten Peilungen angestellte Vergleiche ergaben für je 10 bis 16 Fahrten nur geringe Tiefenunterschiede. Dagegen war nach 87 Fahrten die Wirkung der durch den Slip der Schrauben erzeugten Strömung auf die Kanalsohle an der Aushöhlung in der Mitte des Kanals und an der Ablagerung von Boden in der Kehle zwischen Sohle und Böschungen deutlich zu erkennen. Sehr bedeutend zeigte sich die Aushöhlung der Sohle nach den Peilungen vom 7. bis 9. Juli, welche nach 16 Fahrten des Dortmund allein fahrend bei 2,25 m Tiefgang mit Geschwindigkeiten



von 0,48 bis 1,22 m/sec. entstanden ist. Bei diesen Fahrten betrug der Slip der Schraube 71,3 bis 73,5 ‰, und der Abstand der Schiffsschraube von der Kanalsohle 20 cm.

Die nach dem 9. Juli ausgeführten Versuchsfahrten vergrösserten die Aushöhungen immer mehr. Das Endergebniss aller Fahrten ist auf *Tafel 74* dargestellt. Die vollausgezogenen Profillinien geben die ursprüngliche Gestalt der Profile bei No. 1 bis 17 des Lageplanes (*Tafel 48*), während die punktierten Linien die veränderte Profilform nach Beendigung der Versuchsfahrten angeben. Der Unterschied zwischen beiden zeigt die Veränderungen des Kanalbettes.

Im Ganzen wurde die Beobachtungsstrecke unter Hinzurechnung der Fahrten für Pendelprüfung und der Rückfahrten der Schiffe ca. 800 Mal durchfahren. Die Böschungen wurden dabei nur wenig angegriffen. Stärker war der Angriff auf die Kanalsohle. Das durch die Schiffsschraube erzeugte und über die Sohle nach hinten geschleuderte Slipwasser wird stets der ärgste Feind der Kanäle bleiben, so lange nicht andere direkt wirkende Fortbewegungsmittel zur Einführung gelangen. Schnellfahrende Dampfer erzeugen, wie man bei Goedhart (*Tafel 1*) in der untersten Reihe der Lichtdruckbilder sieht, brechende Wellen, die am Ufer entlang laufen. Die Geschwindigkeit des Goedhart betrug 9,7 km/std. und genügte, um die Landpegel von ihren Befestigungen loszureissen und ihre Unterlagen zu unterspülen.

#### E. Die Einsenkung der Schiffe während der Fahrt.

Das Vorkommen von Einsenkungen wurde bereits 1874 durch Versuche von Froude und Thornycroft bei Gelegenheit der Probefahrt mit einem Torpedoboot, von ersterem auch auf einem Versuchstank constatirt, aber nirgends findet man in der Litteratur eine Andeutung über ihre Grösse und Form, ihre Entstehung, ihr Wesen und ihre Bedeutung für die Schifffahrt.

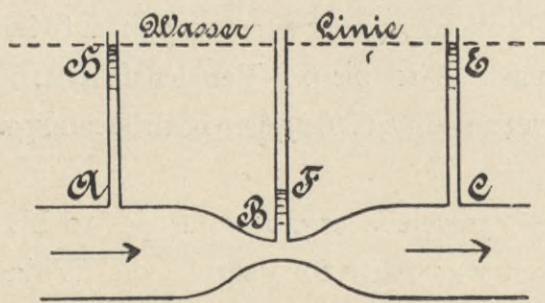


Fig. 17.

In seiner Adresse an die Mechanical Section of the British Association\*) sagt Froude zur Erläuterung der Stromlinientheorie wörtlich:

»Angenommen, es fliesse der Strom einer vollkommenen Flüssigkeit durch ein Rohr A B C von sehr grossem Durchmesser mit einer Contraction bei B, wie in *Textfig. 17* gezeigt, mit gleichem Druck

an jeder Seite der Contraction bei A und C, was durch die Druckhöhe in den Glasröhren A H, C E angezeigt wird. Der Druck bei B wird dann, wie B F angiebt,

\*) Gelesen in Bristol am 24. August 1875.



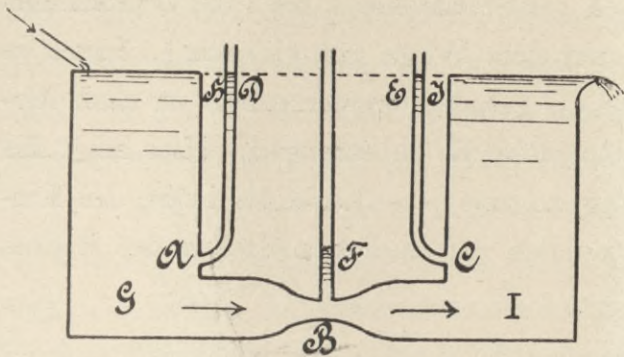


Fig. 18.

Flüssigkeit bis zu J, gleich derjenigen von C E erhalten wird, die in Wirklichkeit derjenigen von H im Gefässe G gleich ist. Wenn demnach einmal die Bewegung durch das Rohr A B C in Betrieb gesetzt und der Zufluss der Flüssigkeit gleichmässig erhalten wird, dann haben wir eine sich schnell bewegende Flüssigkeit, welche mit unveränderter Geschwindigkeit von einem Gefäss in das andere läuft, obgleich beide gleich hoch dabei gefüllt bleiben. —

Nehmen wir nun ein derartiges Zusammenwirken der verschiedenen Umstände an, bei denen der Druck bei B gleich 0 ist, oder mit anderen Worten, wenn die Geschwindigkeit bei B dem Druck der Flüssigkeitssäule A D entspricht, dann können wir

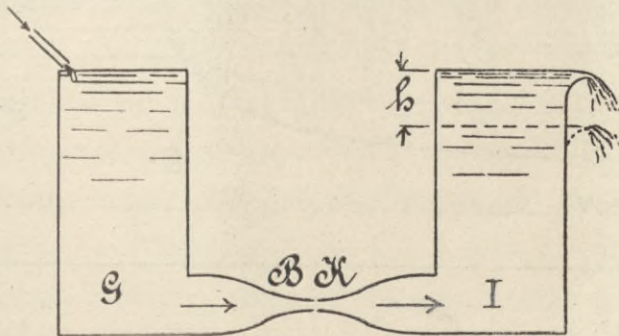


Fig. 19.

das Rohr bei B durchschneiden und die beiden Gefässe von einander entfernen, wie in *Textfig. 19* gezeigt ist. Wir werden dann sehen, dass der bei B aus der Oeffnung ausfliessende Strahl wieder bei K in den anderen Theil des Rohres hineinfließt und wie im vorhergehenden Falle das Gefäss bei J fortdauernd auf dieselbe Druckhöhe gefüllt hält.

„Macht man denselben Versuch mit Wasser an Stelle der vollkommenen Flüssigkeit, so wird man beobachten können, dass in dem empfangenden Gefäss J nur der Theil h der Druckhöhe verloren geht, welcher aus der Reibung entsteht.“

Diesen letzten Versuch, ohne die Trennung des Rohres bei B, kann man in der Weise erweitern, dass man das Rohr A C in gleicher Breite mit den beiden Gefässen G und J ausführt und mit letzteren fest verbindet, wie in *Textfigur 20* gezeigt. Füllt man nun G continuirlich bis zur Höhe H mit Wasser an, welches durch das Rohr A C fließend, das Gefäss J bis zu einer Höhe K auffüllt, aus welchem es frei abfließen



kann, dann hat man in den Wasserstandshöhen der Standrohre a bis l die Druckhöhen an den bezeichneten Stellen des Rohres A C auf dem Wege von G nach J., ferner in der Höhe H den Wasserstand, der in dem Gefäss G gehalten werden muss, um nach Abzug des Verlustes durch Reibung, in J noch eine Höhe K zu erzeugen. Hier zeigt die durch die Spiegelhöhen in den Standrohren gezogene — — Linie die Höhe der Ein-senkung, welche durch die Geschwindigkeiten an den verschiedenen Stellen des Rohres A C entstehen muss.

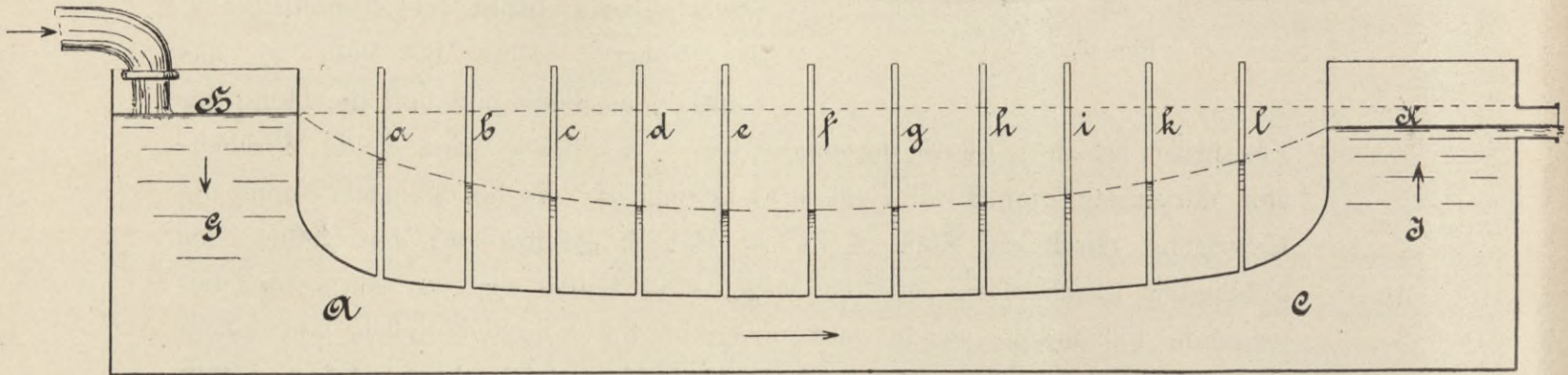


Fig. 20.

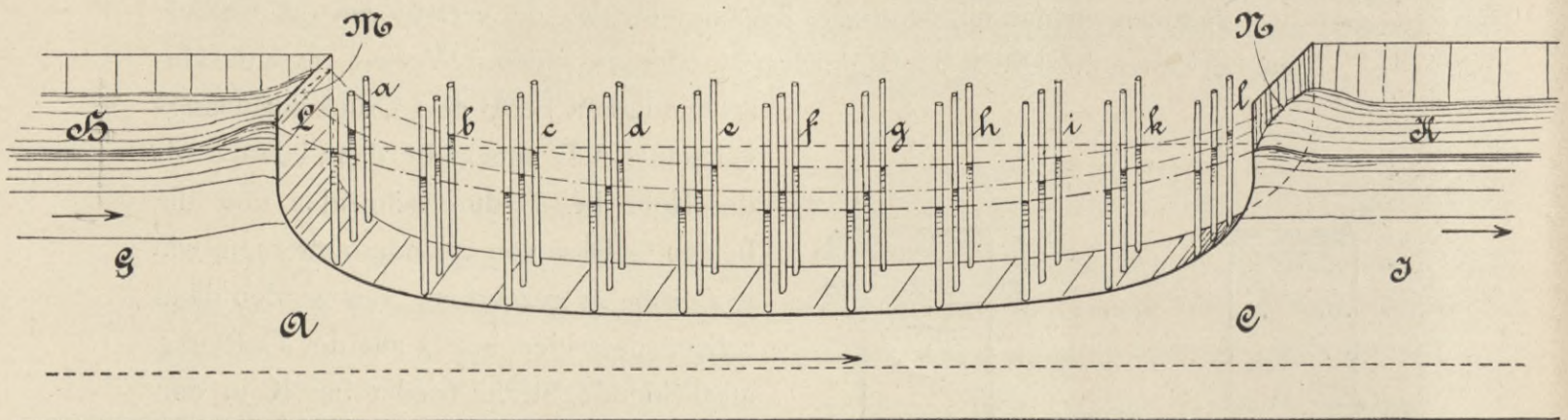


Fig. 21.

Lässt man unter Beibehaltung des Verbindungsrohres die Gefässe G und J umgestalten, wie in *Textfigur 21* gezeigt, und in G einen Wasserstrom mit konstanter Spiegelhöhe eintreten, der an den Gefässwänden infolge der Reibung langsamer und in der Mitte schneller fließen muss, dann zeigt sich Folgendes.

Der in G eintretende Strom trifft zum Theil die Wand L, wird dort verzögert und erhebt sich deshalb über H in Gestalt einer Stauwelle, die in M höher ist, als an den Seiten des Gefässes, weil die grössere Geschwindigkeit in der Mitte des Stromes liegt. Demnächst fliesst dieser Theil des Stromes mit dem Rest durch das Rohr A C, dort in den Standrohren a, b, c, . . . l die angegebenen Druckhöhen erzeugend. Die mittleren dieser Höhen müssen kleiner sein als die seitlichen, weil die grössere Wasserhöhe bei M in der Mitte des Rohres A C grössere Geschwindigkeit erzeugt, als an



den Seiten und demgemäss die Senkung im Standrohr dort grösser sein muss. Diese grössere Geschwindigkeit in der Mitte erzeugt dann bei N wiederum eine Welle, die höher ist als die der geringeren Geschwindigkeit an den Gefässwänden entsprechende. Erst nach und nach geht die Erhebung auf die Höhe K, zurück.

Denkt man sich einen Kanal von überall gleichem Querschnitt, in welchem ein Schiff so festgehalten wird, dass seine Mittelebene in der verticalen Mittelebene des Kanals liegt und nur in der senkrechten Richtung sich frei bewegen kann, denkt man sich ferner in dem Kanal die ihn füllende Wassermenge mit gleicher Geschwindigkeit fliessend, so wird sie natürlich dort, wo sie mit dem Vorderende des Schiffes in Berührung kommt, einen Druck auf dasselbe ausüben, der sich in einer Erhöhung des Wasserspiegels, d. h. in der Bugwelle zu erkennen giebt.

Weiter fliessend tritt die Strömung in den Theil des Kanals, dessen Querschnitt durch das Schiff verengt ist. Nach der Form des Schiffes muss die Geschwindigkeit am Vorschiff zu- und am Hinterschiff wieder abnehmen, um in der Zeiteinheit stets dieselbe Wassermenge durchzulassen. Die Vergrösserung der Geschwindigkeit hat eine Verringerung der Druckhöhe, also eine Einsenkung des Kanalspiegels und somit ein Tiefsinken des Schiffes zur Folge. Dies bedeutet wiederum eine Verkleinerung der Querschnitte, also eine Erhöhung der mittleren Geschwindigkeiten in den verschiedenen Querschnitten. Aus allen diesen Aenderungen entsteht, sobald gleichförmige Bewegung des Wassers vor und hinter dem Schiffe erreicht ist, ein andauernder Zustand, der sich nur ändert, wenn eine Aenderung in den bedingenden Umständen eintritt.

Der Theil des Kanals, in welchem das Schiff liegt, hat eine Aehnlichkeit mit der Darstellung in *Textfig. 21*. Unmittelbar vor dem Schiff bei G, wo die Geschwindigkeit des ankommenden Wassers die Bugwelle erzeugt, entsteht die Druckhöhe, welche das Wasser durch das Verbindungsrohr, d. i. der zwischen Kanal- und Schiffswand verbliebene Wasserlauf, bis zur Heckwelle hinaufdrückt. Infolge des Druckhöhenverlustes durch Reibung erreicht die Heckwelle nicht die volle Höhe der Bugwelle, und der Wasserspiegel wird nicht unmittelbar hinter dem Schiff, sondern erst in einiger, von Stromgeschwindigkeit und Schiffsförmigkeit abhängigen Entfernung durch das über die Heckwelle hinauslaufende Kielwasser zum Ausgleich gebracht. Nimmt man nun an, das Wasser im Kanal stehe still, und das Schiff bewege sich mit der Geschwindigkeit G, dann ist der Vorgang ein ähnlicher. Der Druck den die Wasserbewegung auf das festliegende Schiff ausübte, muss nun durch eine Kraft ersetzt werden, die das Schiff fortbewegt. Hierbei vertheilt sich das vom Schiff verdrängte Wasser, je zur Hälfte, zu beiden Seiten einer durch die Mittellinie des Schiffes gedachten verticalen Ebene, die bis zur Kanalsohle durchgehend, den Kanal in zwei Theile zerlegt. Liegt nun das Schiff nicht in der Mitte des Kanals, oder sind die Querschnitte beider Kanaltheile aus anderen Gründen ungleich, dann müssen die Geschwindigkeiten und somit auch die Einsenkungshöhen ungleich sein. Ein Ausgleich, der hieraus entstehenden Druckdifferenzen findet



statt je nach der Schiffsgeschwindigkeit und dem Abstand zwischen Schiffsboden und Kanalsohle.

Aus den Stromgeschwindigkeiten in jedem Querschnitt ist für die ganze Schiffslänge eine mittlere Stromgeschwindigkeit berechnet. Alle sind in den Tabellen Seite 44 ff. 3 und auf den *Tafeln 48—70* der für jede der darin dargestellten Versuchsfahrt angegeben. Jeder der mittleren negativen Stromgeschwindigkeiten entspricht eine Einsenkungshöhe, welche mit der Kanalbreite multiplicirt den mittleren Querschnitt ( $\Delta Q$ ) des Einsenkungskörpers giebt, der ebenfalls berechnet, und ebenso wie die  $v$ , für die verschiedenen Fahrten angegeben ist.

Zu bedauern ist, dass mittels der Versuche nicht zugleich die verschiedenen Einsenkungen an beiden Schiffsseiten festgestellt werden konnten, umsomehr, als nur wenige Fahrten mit den Schiffen annähernd in der Kanalmitte liegend photographisch aufgenommen wurden. Es hätten dann die Verschiedenheiten der Einsenkungen beider Seiten noch genauere Daten für  $v$  und  $\Delta Q$  ergeben, wodurch ihr Werth erhöht worden wäre.

Die Linien  $ff$  auf den Zeichnungen der *Tafeln 48* bis *70* begrenzen mit den Normalwasserlinien und den beiden vertikalen, gestrichelten Linien, Ebenen, deren Inhalte diejenigen der Hohlkörper sind, welche die ganze Einsenkung in der Länge der Schiffe bilden. Nach vorn ragen sie nicht weit über den Vorsteven des Schiffes hinaus, dagegen verlängern sie sich nach hinten hinaus mit der Zunahme der Schiffsgeschwindigkeit und des Tiefganges. Das Maass dieser Verlängerungen konnte nicht vollständig festgestellt werden, man sieht nur an den Pendeln und Landpegeln vorn noch eine Senkung unter der Normalwasserlinie, während am Schiff selbst sich die Bugwelle erhebt. Da letztere in dem Kanalquerschnitt, in welchem sie liegt, einen Zuwachs bildet, dem eine Senkung des Wasserspiegels am Ufer gegenübersteht, so kann man annehmen, dass die Einsenkung nahezu am Vorsteven beginnt. Unmittelbar am Hinterschiff bildet sich die Heckwelle, die aber meistens über die Normalwasserlinie nicht hinausragt. Die Länge des Kielwassers ist theilweise auf den Lichtdruckbildern zu erkennen, soweit es durch die Schrauben der Dampfer bewegt wird. An den geschleppten Schiffen sieht man wenig davon, und verschiedene Versuche, die Höhe der Wasseroberfläche hinter dem fortbewegten Schiff zu messen, ergaben kein zuverlässiges Maass. *Textfigur 22* giebt ein ungefähres Bild der Einsenkung im Zusammenhange mit dem Displacement. Beide unterscheiden sich von einander durch die Art der Schraffirung. Von den drei Querschnitten ist  $AB$  der im Längendurchschnitt mit gleichen Buchstaben bezeichneten Linie des Vorschiffes,  $CD$  ist der grösste und  $EF$  ein Querschnitt des Hinterschiffes. Man sieht die Verlängerung der Einsenkung über das Vorder- und Hinterende des Schiffes hinaus in dem Längendurchschnitt.

Die Grösse der Einsenkungshöhen ist bei kleinen Geschwindigkeiten ganz gering, sie beträgt gleich zu Anfang der Versuche bei Goedhart schleppt Emden mit 1 m



Geschwindigkeit bei 1,5 m Tiefgang 1,5 cm. Es zeigten die Pegel am Ufer schon hier einen geringen Fall, und die Pendel einen schwachen negativen Strom, der, ungefähr in der Höhe des Vorstevens beginnend, seine grösste Stärke in der Mitte der Schiffslänge erreichte und in Höhe des Ruders wieder auf 0 herabfiel.

Bei Vergrösserung der Geschwindigkeit vermehrte sich die Einsenkungshöhe, sie wurde am grössten bei Goedhart mit 2,70 m/sec. Geschwindigkeit allein fahrend, und bei Lloydkahn durch Goedhart mit 2 m/sec. Geschwindigkeit bei 1,75 m Tiefgang geschleppt.

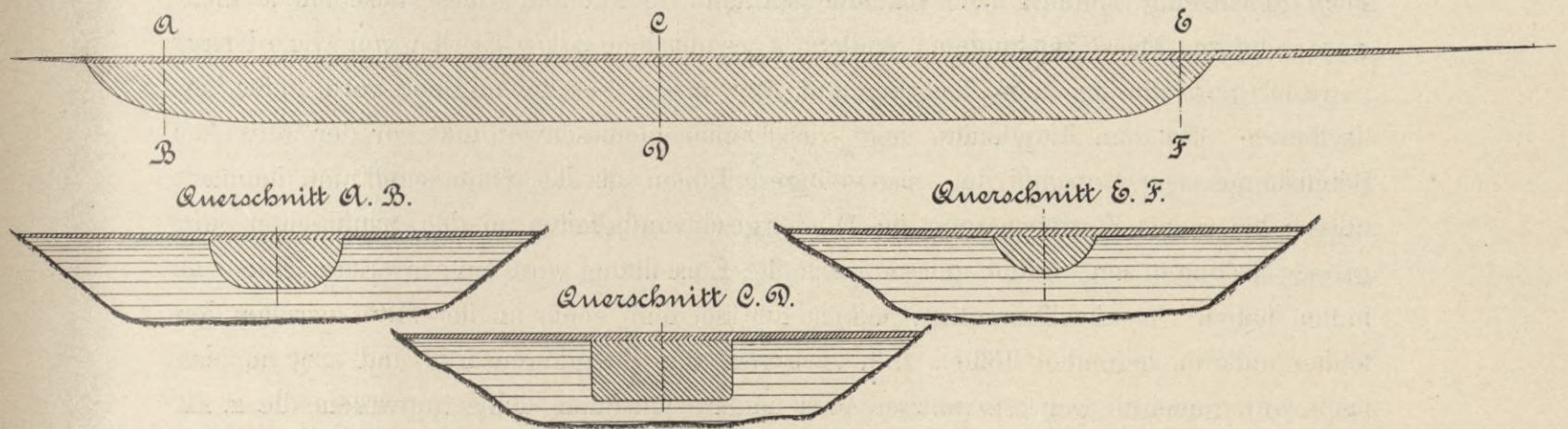


Fig. 22.

Bei 2,25 m Tiefgang sank Emden als er von Goedhart mit 1,20 m/sec. geschleppt wurde, so tief, dass er bei einem Wasserstand von 1 cm über Normalwasserhöhe im Kanal den Grund berührte. Dasselbe ereignete sich beim Lloydkahn als er bei 2 m Tiefgang mit 1,8 m/sec. unter Normalwasserhöhe von Goedhart geschleppt wurde.

In einem Schleppzug ist die Entfernung der Schiffe von einander von Bedeutung für die Einsenkung. Liegt ein Schiff im Bereich des Schrauben- oder Kielwassers eines voraufgehenden Schiffs, so wird die negative Strömung an dem nachfolgenden Schiff verstärkt und dessen Einsenkung vergrössert. Ist das vorauffahrende Schiff eben so gross wie das nachfolgende und die Entfernung zwischen beiden nur klein, dann kommt die noch nicht ganz aufgehobene negative Geschwindigkeit des Schiffes für das zweite Schiff in höherem Maasse zur Wirkung, als wenn dieses kleiner ist. Hiernach ist auch das Maass der Einsenkung grösser oder kleiner.

Bei Goedhart schleppt Emden und Dortmund hatte letzterer bei nur 1,50 m Tiefgang nahezu dieselbe Einsenkung wie Emden; bei den kleinen Geschwindigkeiten war sie noch etwas geringer. Bei 1,75 m Tiefgang betrug die Einsenkungshöhe für 1,23 m/sec. Geschwindigkeit bei Emden 5,5 cm, bei Dortmund 7,5 cm und für 1,48 m/sec. hatte Emden 8 und Dortmund schon 11 cm Einsenkungshöhe. Bei 2,25 m Tiefgang war die Differenz zwischen den Einsenkungshöhen für 0,75 m Geschwindigkeit schon 1,75 cm.



Bei Bergfahrten wird die negative Strömung durch die Stromgeschwindigkeit und dementsprechend auch die Einsenkung vergrößert.

Die Zeichnungen auf den *Tafeln 48 bis 70* ergeben vorn und hinten ungleiche Einsenkungshöhen, ein Theil davon, besonders solche nach Versuchen mit nur geringer Geschwindigkeit, zeigt eine Wasserlinie, welche der normalen gegenüber vorn tiefer liegt, als hinten. Wahrscheinlich ist, dass ein leichtes pendelartiges Heben und Senken des Vorschiffes und dementsprechendes Senken und Heben des Hinterschiffes durch das Schlepptau veranlasst wurde und, weil die photographische Aufnahme vorn und hinten nicht gleichzeitig, sondern nach einander stattfand, dass dadurch diese anscheinend nicht ganz richtigen Masse entstanden. Anders ist es mit dem Lloydkahn von Goedhart geschleppt, der bei 2 m Tiefgang und 1,77 m/sec. Geschwindigkeit vorn tiefer lag, als hinten. Bei dem Lloydkahn liegt der Deplacementsschwerpunkt vor der Mitte der Schiffslänge, sein Vorschiff hat also völligere Linien, als das Hinterschiff und demnach müssen bei seiner Fortbewegung die Wassergeschwindigkeiten an den Schiffsseiten vorn grösser als hinten sein, mithin müsste auch die Einsenkung vorn eine grössere Höhe, als hinten haben. Da die Trimmlage jedoch nur bei dem einen, in der Mitte zwischen den beiden anderen liegenden Fällen, d. h. zwischen den Tiefgängen 1,75 und 2,25 m, eine nach vorn geneigte war, so müssen noch andere Umstände dabei mitwirken, die z. Zt. noch nicht bekannt sind.

Bei Dortmund alleinfahrend T. 1,75 m und G. 1,25 m/sec. betrug die Einsenkungshöhe bei fast allen Fahrten vorn mehr als hinten. Hierbei spielt jedoch die Wirkung der Schraube eine Rolle, der Antheil, den sie daran hat, lässt sich ebenfalls noch nicht bestimmen; wahrscheinlich führen dazu Vergleiche zwischen diesen Fahrten und denen des Schleppzuges Goedhart mit Emden. Mit Goedhart allein ergaben nur 2 Fahrten bei der geringsten Geschwindigkeit vorn eine kleine Mehrtauchung gegen hinten, die grössten Geschwindigkeiten zeigten dagegen eine bedeutende Schräglage nach hinten.

---



## V.

## Folgerungen.

## A. Schiffswiderstand.

Versuche zur Ermittlung des Schiffswiderstandes in Kanälen sind unter dem Titel: *Recherches Expérimentales sur le Matériel de la Battellerie* par F. B. de Mas in den Jahren 1891 bis 1897 veröffentlicht worden. Sie bestehen in der Hauptsache in Ermittlung der Zugkräfte vieler verschiedenartig geformter Schiffe auf der Seine, welche für ihre Grösse und die bei den Schleppfahrten gewählten Geschwindigkeiten als Fahrten in unbegrenztem Wasser angesehen wurden. Die dabei gemessenen Zugkräfte wurden Eigenwiderstand (*la résistance propre*) der Schiffe genannt und durch die Formel

$$r = K \omega V^2$$

ausgedrückt, in welcher  $r$  den Widerstand,  $V$  die Geschwindigkeit,  $\omega$  den Inhalt des Hauptspantes des betreffenden Schiffes und  $K$  einen für ein Schiff von bestimmter Form constanten Coëfficienten bedeuten. Ferner wurden die Zugkräfte von denselben Schiffen bei gleichen Geschwindigkeiten in verschiedenen Kanälen ermittelt und mit den erstgenannten verglichen. Desgleichen wurden sehr sorgfältig ausgeführte Untersuchungen angestellt über die beste Schiffsform für Kanäle, über Reibungscoëfficienten bei verschiedener Beschaffenheit, verschiedenen Anstrichen etc. der benetzten Oberfläche.

Die umfangreichen Arbeiten von W. Froude über den Widerstand der Schiffe in unbegrenztem Wasser, welche vom Institution of Naval-Architects, in der British Association und in vielen Berichten an die englische Admiralität, an das Parlament u. s. w. veröffentlicht wurden, waren bahnbrechend. Sie geben zur Ermittlung der Zugkräfte Wege und Mittel an. Froude's langjährige Versuche mit Modellen auf sogenannten Versuchstanks in Torquay und später in Haslar haben bei den Marinen der meisten europäischen Staaten, in Nord-Amerika und an mehreren Privatwerften Nachahmung gefunden.

Froude zerlegte den Schiffswiderstand in

Oberflächen-Reibung,  
wirbelbildenden Widerstand,  
Wellenbildung.

Von diesen ist, seinen Ausführungen nach, der erstgenannte für grosse in unbegrenztem Wasser fahrende Schiffe sehr bedeutend. Er ist abhängig von der Grösse



der benetzten Oberfläche des Schiffes, sowie von dem Grad ihrer Rauheit und bildet für geringe Geschwindigkeiten fast den gesamten Widerstand, während er für grosse Geschwindigkeiten 45—60 % beträgt.

Den zweiten Theil des Widerstandes, die Bildung von Wirbeln, achtet Froude bei gut gebauten Schiffen für unmerkbar. Dicke Vor- und Hintersteven von quadratischem Querschnitt erklärt er für sehr ergiebige Quellen dieser Art von Widerstand.

Später äusserte sich Froude über den zweiten und dritten Theil, den Wirbel und Wellen bildenden Widerstand, wörtlich:

„Die Wirkungen, welche diesen Widerstandsprozess verursachen und früher mit „wellenbildendem Widerstand“ bezeichnet wurden, sind so complicirter Art, dass keine eingehende theoretische Behandlung daran mit Nutzen versucht werden kann. Alles, was sich von dem Wesen dieses Widerstandes zur Zeit erforschen lässt, muss meiner Ansicht nach durch direkte Versuche gefunden werden.“

Zu dieser Ansicht war Froude dadurch gekommen, dass er nach der Darstellung des Professor Rankine die Bug- und Heckwelle eines auf unbegrenztem Wasser fahrenden Schiffes für ein Wellenpaar erklärte, welches mit dem Wellenthal, das an den Schiffseiten zwischen Bug- und Heckwelle liegt, sich ähnlich wie eine Tiefseewelle von gleicher Länge verhalte. Die Tiefe vom Wasserspiegel aus, auf welche sich die Bewegungen dieser Welle erstrecken, soll annähernd derjenigen der Tiefseewelle gleich sein. Dieses Wellenpaar und die von ihnen weiter erzeugten Wellen sollen den Ausgleich des Wassers zwischen dem Vorder- und Hinterende des Schiffes bewirken. Es wird angenommen, dass dieser Ausgleich hauptsächlich an der Oberfläche des Wassers erfolge.

Für begrenztes Wasser ist diese Ansicht nach den Versuchen auf dem Dortmund-Ems-Kanal, nicht zutreffend. Die auf den *Tafeln* 48—70 befindlichen, nach den Photographieen angefertigten Zeichnungen, sowie die Photographieen selbst zeigen in den von den Pegeln und Pendeln angegebenen Strömungen, dass eine Wellenbewegung in der vorangegebenen Art nicht stattfindet. Eine negative Strömung, die von der Bug- bis zur Heckwelle und darüber hinaus fliesst, vermittelt allein den Ausgleich des Wassers. Von ihrer Geschwindigkeit und der bewegten Wassermasse hängt der gesammte Widerstand eines in begrenztem Wasser fortbewegten Schiffes ab.

Die von Froude eingeführte Art der Ermittlung des Schiffswiderstandes mit Hülfe von Modellen ist nicht auf Darstellung der einzelnen Theile, aus denen er zusammengesetzt sein soll, also auch nicht auf Berechnung des Reibungs-, Wirbel und Wellen bildenden Widerstandes im Einzelnen begründet. Sie fasst alle drei zusammen, stellt deren Summe am Modell fest und bestimmt danach den Gesamtwiderstand.



Dasselbe lässt sich für Kanäle durch Rechnung erreichen, wenn durch ähnliche Versuche wie hier, das nöthige Material beschafft ist. Der Beweis hierfür soll in Nachstehendem erbracht werden, doch ist zu bemerken, dass je nach der Verschiedenheit der Kanalprofile und der Beschaffenheit des Bettes die Widerstände, welche die Schiffe zu überwinden haben, sehr verschieden sein können. Genau genommen gelten die Versuche nur für die Stelle, an der sie für die Berechnung gemacht wurden, sie können jedoch als genügend zuverlässig für solche Strecken verwendet werden, deren Profil dem der Versuchsstrecke gleich ist.

Die Schwierigkeit, den Schiffswiderstand in einem Kanal derartig zu bestimmen, dass ein und derselbe Widerstand durchgehends für die ganze Strecke gilt, scheint auch de Mas\*) bei seinen Versuchen gefunden zu haben, denn er sagt wörtlich:

„Wir müssen anerkennen, dass wir noch bei Weitem nicht genügend Beobachtungen zu unserer Verfügung haben, von denen die Beziehungen zwischen diesen vielen Einflüssen und dem Widerstands-Coëfficienten sich herleiten lassen.“

Die Versuche auf dem Dortmund-Ems-Kanal können aus mehrfachen Gründen nicht als abschliessend hingestellt werden, sie sind aber alle an einer und derselben Stelle des Kanals ausgeführt worden und eignen sich deshalb besser zu Vergleichen unter einander, als wenn die verschiedene Gestalt und Beschaffenheit des Kanalbettes an anderen Versuchsstellen mit zu berücksichtigen gewesen wären. Der Umstand, dass die Form der Profile während der Dauer der Versuche sich geändert hat, hat in den Zeichnungen auf *Tafel 48—70* Berücksichtigung gefunden.

Für die Berechnung des Widerstandes sind die Ausführungen in Abschnitt IV C 1, 2 und 3, sowie D und E zum grossen Theil maassgebend. Man sieht aus ihnen, den Lichtdruckbildern und den Zeichnungen, die negativen Strömungen an den Ufern und Schiffsseiten, die Pendellagen und Pegelstände, sowie die auf vielen der Bilder erkennbare Spiegelglätte der Wasseroberfläche vor den Schiffen. Dies zeigt, dass dort durch die Fortbewegung der Schiffe kein Wasser in positiver Richtung bewegt wird. Es herrscht in geringer Entfernung vor dem Bug absolute Ruhe im Wasser. Das Wasser, welches durch die Vorwärtsbewegung des Schiffes verdrängt wird, muss also nach hinten ablaufen. Ein Theil desselben füllt den vorher vom Schiffe eingenommenen Raum sofort und stetig aus. Der andere Theil hat die Aufgabe, die über das Hinterschiff hinausreichende Einsenkung bis zu derselben Höhe auszugleichen, die vor Ankunft des Schiffes vorhanden war. Dies geschieht in einer gewissen Entfernung hinter dem Schiffe, die mit der Geschwindigkeit, dem Tiefgang und anderen Umständen zunimmt. Wo der Ausgleich erfolgt ist, tritt vollständige Ruhe ein.

Die Kanalsohle liegt horizontal. Ein Heben des zu verdrängenden Wassers ist also nicht erforderlich. Die zu leistende Arbeit kann deshalb nur in der Ueberwindung

\*) *Le Matériel de la Battellerie*, par F. B. de Mas, Seite 121.



des Widerstandes bestehen, der durch die Reibung des zwischen Schiff und Kanalbett nach hinten fließenden Wassers an den Kanalwandungen, an der benetzten Oberfläche des Schiffes, sowie der Wassertheilchen unter sich erzeugt wird.

Diese drei Reibungswiderstände, welche den Gesamtwiderstand bilden, einzeln ihrer Grösse nach festzustellen, ist mindestens schwierig, wenn nicht unmöglich. Die Reibung an der benetzten Schiffsoberfläche hängt von ihrer Beschaffenheit ab und ändert sich mit dieser, wie von Froude nachgewiesen wurde. Sie ist aber nicht allein von der Schiffsgeschwindigkeit, wie behauptet, abhängig, sondern es muss zu dieser noch die Geschwindigkeit der negativen Strömung addirt werden, welche an der benetzten Oberfläche auftritt. Diese lässt sich bis jetzt nicht zutreffend ermitteln und somit ist eine genaue Berechnung der Reibung am Schiff noch nicht ausführbar. Ganz ebenso verhält es sich mit den andern Reibungswiderständen an den benetzten Kanalwandungen und den Wassertheilchen unter sich. Wir sahen jedoch schon Seite 54, dass sich in der Einsenkung die Wirkung aller Ursachen zusammen ausdrückt, welche die Geschwindigkeit der negativen Strömung, also auch die Grösse der Einsenkung beeinflussen.

Hiernach führen die Versuche auf dem Dortmund-Ems-Kanal zu folgender Herleitung einer Theorie des Gesamtwiderstandes.

Es sei:

$Q$  der mittlere Querschnitt des Kanals in der Versuchsstrecke in  $qm$ .

$\Delta Q$  der mittlere Querschnitt der Einsenkung in  $qm$ .

$D$  der Inhalt des Displacements der Schiffe in  $cbm$ .

$L$  die Länge der Schiffe in der Wasserlinie in  $m$ .

$G$  die Schiffsgeschwindigkeit in  $m/sec$ .

$v$  die mittlere negative Geschwindigkeit der Wassermasse, welche an den Seiten des Schiffes innerhalb seiner Länge nach hinten zu fortbewegt werden muss, damit es die Geschwindigkeit  $G$  annehmen kann, in  $m/sec$ .

$q = \frac{D}{L}$  der mittlere Querschnitt des Schiffes in  $qm$ .

$W$  der Widerstand des Schiffes in Tonnen und

$\gamma$  das spezifische Gewicht des Wassers,

dann ist der mittlere Querschnitt des Kanales, der zwischen dem Schiff und dem Kanalbett für die Bewegung des Wassers übrig bleibt:

$$Q - \Delta Q - q \text{ in } qm$$

und das Gewicht der bewegten Wassermasse:

$$\gamma (Q - \Delta Q - q) \cdot L.$$

Die Bewegung dieses in Tonnen ausgedrückten Gewichts mit der Geschwindigkeit  $v$  erfordert eine Arbeitsleistung von

$$\xi \gamma (Q - \Delta Q - q) \cdot L \cdot v$$



und da diese bei gleichmässiger Bewegung der Widerstandsleistung gleich sein muss, ist:

$$G \cdot W = \zeta \gamma (Q - \Delta Q - q) \cdot L \cdot v$$

wobei  $\zeta$  einen Erfahrungscoefficienten bezeichnet, welcher sich aus den Versuchen herleiten lässt.

Ferner ist:

$$\text{I. } W = \zeta \cdot \gamma \cdot (Q - \Delta Q - q) L \cdot \frac{v}{G}$$

wird der auf Seite 37 entwickelte Werth

$$v = \frac{\Delta Q + q}{Q - \Delta Q - q} \cdot G$$

hier eingesetzt, so erhält man

$$\text{II. } W = \zeta \cdot \gamma \cdot (\Delta Q + q) L,$$

ferner durch Einsetzen des Werthes

$$\Delta Q = \frac{v}{v + G} \cdot Q - q$$

$$\text{III. } W = \zeta \cdot \gamma \cdot \frac{v}{v + G} \cdot Q \cdot L.$$

Aus den vorstehenden drei Gleichungen lässt sich der Schiffswiderstand je nach den zur Verfügung stehenden Grössen berechnen. Die Relationen dieser Grössen treten überall klar hervor. Nach der zweiten Gleichung z. B. erkennt man, dass der Widerstand von der Summe aus Einsenkung  $\Delta Q \cdot L$  und Displacement  $q \cdot L$  abhängig ist. Beide zusammen bilden gleichsam einen Körper, der das Wasser im Kanal verdrängt und mit der Geschwindigkeit  $G$  fortschreitet.

Nach Formel I ist:

$$\zeta = \frac{W}{\gamma (Q - \Delta Q - q) L \cdot \frac{v}{G}}$$

Der Coefficient  $\zeta$  wächst mit dem Widerstand  $W$  und nimmt mit dem Grösserwerden von  $\gamma$  ab. Er wächst mit der Geschwindigkeit  $G$  und nimmt im umgekehrten Verhältniss der bewegten Wassermasse und ihrer Geschwindigkeit  $v$  ab.

Nach Formel II ist:

$$\zeta = \frac{W}{\gamma (\Delta Q + q) L}$$

$\zeta$  nimmt also mit dem Wachsen der Summe aus Einsenkung und Displacement ab.

Nach Formel III ist:

$$\zeta = \frac{W (v + G)}{v \cdot Q \cdot L}$$

und wächst demnach mit der Summe aus  $v$  und  $G$  und nimmt ab mit dem Wachsen von  $v$  sowie der Wassermasse  $Q \cdot L$ , welche den Kanal innerhalb der Länge  $L$  füllt, wenn er in Ruhe ist.



Spalte 12 der Seite 44 bis 51 gegebenen Tabellen enthält die aus den Zeichnungen *Tafel 49—71* hervorgegangenen  $v$ , und Spalte 13 die  $\Delta Q$  der verschiedenen Versuche. Berechnet man  $v$  nach der Formel

$$v = \frac{\Delta Q + q}{Q - \Delta Q - q} \cdot G$$

indem man darin die Werthe von  $\Delta Q$  aus Spalte 13 einsetzt, so erhält man andere Werthe, die unter  $v_1$  in Spalte 20 aufgeführt sind. Die Abweichungen erklären sich durch die verschiedene Art der Herleitung dieser Zahlen.

Durch Auftragen der  $v_1$  als Abscissen und der  $\Delta Q$  als Ordinaten wurde die in Beilage II, *Fig. 1* dargestellte  $\Delta Q_1$  Kurve gebildet. Es bedurfte dabei keiner grösseren Verbesserungen der  $\Delta Q$ , wo diese nöthig waren, sind sie aus der nicht ganz zuverlässigen Aufnahme der Einsenkungsmaasse zu erklären.

Die Zahlen in Spalte 22 wurden nach der Formel

$$\zeta = \frac{W}{r(\Delta Q \cdot L + D)}$$

errechnet, worin die Werthe für  $W$  und  $\Delta Q \cdot L + D$  aus Spalte 17 und 16 genommen und  $r = 1$  gesetzt wurde. Die für  $\zeta$  gefundenen Werthe wurden in *Fig. 2* und *3*, Beilage II als Ordinaten eingetragen, für welche die Summen  $v_1 + G$ , Spalte 21 der Tabellen als Abscissen dienten. In den beiden so entstandenen Gruppen von  $\zeta$ -Kurven sind die verschiedenen Formen der Schiffe Emden und Lloydkahn, sowie die Tiefgänge von 1,50 bis 2,25 m vertreten.

Von diesen Kurven sind die für Emden und Lloydkahn, Tiefgang 1,75 m, ganz gleich, während die für 2,00 m etwas und die für 2,25 m noch mehr von einander abweichen.

Der Lloydkahn ist mit dem Tiefgang 1,50 m nicht untersucht worden, die dafür in *Fig. 3* eingezeichnete gestrichelte Kurve gilt für Emden T. 1,50 m und wie später nachgewiesen wird, auch für Lloydkahn T. 1,50 m.

Wenn die Formel

$$W = \zeta \cdot r(\Delta Q_1 + q) \cdot L$$

die Schiffsform vollständig berücksichtigte, dann müssten für dieselben Summen  $v_1 + G$  als Abscissen gleiche  $\zeta$  gelten. Dies ist aber nicht möglich, denn der mittlere Querschnitt  $q$  des Displacements erfüllt die Bedingung nur nach dem Flächeninhalt sämtlicher Querschnitte des Schiffes. Ebenso wenig ist in  $\Delta Q_1$  die Spantenform vertreten. Unmöglich kann aber ein Schiff mit flachem Boden in einem Kanal bei demselben Displacement und denselben Hauptabmessungen mit derselben Zugkraft dieselbe Geschwindigkeit annehmen, wie ein anderes, dessen Boden von der Mitte aus nach der Kimm zu ansteigt. Noch weniger ist dies der Fall bei Schiffen von gleicher Länge und gleichem Displacement bei verschiedener Breite und dieser Breite entsprechendem Tiefgang, so dass der ganze Boden des einen Schiffes der Kanalsohle näher liegt, als der



des andern Schiffs. Immer wird in einem Kanal dasjenige Schiff den grössten Widerstand erleiden, dessen Deplacementsschwerpunkt bei sonst gleichen Hauptabmessungen am tiefsten unter der Wasserlinie liegt.

Bestätigt wird dieser Grundsatz durch die gleichmässige Tieflage der Deplacementsschwerpunkte von Emden und Lloydkahn bei 1,75 m Tiefgang, deren  $\zeta$ -Kurven in *Fig. 2* und *3* Beilage II vollkommen übereinstimmen. In *Fig. 4* Beilage II wurden auf der Abscissenaxe die Schwerpunktsabstände unter der Wasserlinie abgetragen und die Ordinaten auf den Endpunkten errichtet und auf diesen die zu den Abscissen 1,0, 1,3, 1,6, 1,9, 2,2, 2,5 und 2,8 gehörenden Höhen der Kurven *Fig. 2* und *3* für Emden und Lloydkahn abgetragen. Der gute Belauf der daraus entstehenden Kurven ist ein weiterer Beweis für die Richtigkeit dieses Grundsatzes.

Die Kurven in *Fig. 4* sind ebenso, wie die in *Fig. 2* und *3*, Schnittlinien der Ebenen, in welchen sie liegen, mit einer Fläche, welche durch die Kurven bestimmt wird. Die Abstände der Ebenen der Kurven *Fig. 4* sind gleiche und betragen 0,3 m/sec. nach dem Maassstab der Abscissen von *Fig. 2* und *3*. Von diesen liegt in *Fig. 4* die Ebene der Kurve für 1,50 m Tiefgang vom 0 Punkt ab in der Entfernung des Deplacementsschwerpunktes des Emden bei 1,50 m Tiefgang unter der Wasserlinie. Da ferner Emden und Lloydkahn bei 1,75 m Tiefgang gleiche Schwerpunktslage haben, gilt für beide dieselbe Entfernung vom 0 Punkt. Verschieden sind die Entfernungen für Emden und Lloydkahn, wie *Fig. 4* zeigt, bei 2,00 m und mehr noch bei 2,25 m Tiefgang, bei welchem die Schwerpunkte von Emden tiefer, als die des Lloydkahn liegen. Nach diesen Kurven können die Coëfficienten  $\zeta$  für sämtliche den Kanal befahrenden Schiffe, deren Tiefgänge etwas unter 1,50 bis 2,25 m incl. betragen und deren Schwerpunkte in den Grenzen von 0,625 bis 1,038 liegen, durch Interpolation gefunden werden.

Nach Seite 61 ist bei mehreren hinter einander geschleppten Schiffen die Einsenkung der vorausgehenden Schiffe kleiner, als diejenige der ihnen folgenden Schiffe. Der Unterschied zwischen den Einsenkungen nimmt im umgekehrten Verhältniss der Abstände der Schiffe von einander ab und wird 0 bei einer gewissen Entfernung, welche von der Geschwindigkeit, dem Tiefgang und anderen Umständen abhängt. Nach der Formel

$$W = \zeta \gamma (\Delta Q + q) L$$

wächst der Widerstand mit der Einsenkung und daraus könnte man schliessen, dass es unrichtig sei, die geschleppten Schiffe, wie in der Praxis üblich, in geringer Entfernung dem Schleppdampfer und die Schiffe unter sich ganz nahe einander folgen zu lassen. Dies trifft nicht zu, denn die Schiffe folgen einander schlecht bei grösseren Abständen und der Führer des Schleppdampfers hat sie nicht in seiner Gewalt. Dadurch entsteht schlechtes Steuern, welches den Widerstand vergrössert und andere Uebelstände mit sich führt.



Aus *Tabelle 6*, Spalte 17 (Seite 48 u. 49.) kann die Zunahme des Widerstandes von Dortmund gegenüber dem ihm im Schleppzuge voraufgehenden Emden abgelesen werden. Beide Schiffe hatten 40 m Abstand von einander und dieser genügte, um Dortmund bei gewissen, nicht grossen Geschwindigkeiten und Tiefgängen von 2,00 bis 2,25 m unlenksam zu machen. Wie gering der Nutzen einer langen Schlepptrasse ist, zeigen die am 20. Mai ausgeführten Versuche mit 150, 100 und 50 m langer Schlepptrasse. Sie ergaben kaum merkbare Unterschiede in der Zugkraft, die nicht erkennen liessen, ob die eine oder die andere Länge Vortheile gewährt.

Die Kurven auf Beilage II bieten die Unterlagen für die Ermittlung des Widerstandes eines Schiffes in den auf Seite 69 angegebenen Grenzen, von dem die Grösse, die Form, der Tiefgang und die zu erreichende Geschwindigkeit gegeben sind. Das hierbei anzuwendende Verfahren lässt sich am besten an einem Beispiele erläutern.

Soll der Lloydkahn auf 1,65 m Tiefgang beladen und im Kanal mit 1,60 m/sec. Geschwindigkeit geschleppt werden, so ist

das Displacement $D$ . . . . .	540 cbm,
dessen Schwerpunkt unter W. L. . . . .	0,736 m,
Kanal-Querschnitt $Q$ . . . . .	58,5 qm,
Länge des Schiffes $L$ . . . . .	55 m,
der mittlere Querschnitt . . . . .	$q = \frac{540}{55} = 9,82$ qm.

Um zunächst  $\Delta Q_1$  zu bestimmen, wird die mittlere negative Geschwindigkeit  $v_0$  errechnet, welche im Kanal vorhanden sein müsste, wenn keine Einsenkung vorhanden wäre.

$$v_0 = \frac{q \cdot G}{Q - q} = \frac{9,82 \cdot 1,60}{58,50 - 9,82} = 0,323 \text{ m/sec.}$$

Diese Geschwindigkeit muss wesentlich kleiner sein als die wirkliche. Um sie dieser möglichst nahe bringen zu können, sind in der Kurve 1 a, Beilage II, die aus verschiedenen Versuchen berechneten  $v_0$  als Abscissen und die Prozente dieser  $v_0$  als Ordinaten aufgetragen, welche ihnen zuaddiert werden müssen, um eine der Geschwindigkeit  $v_1$  annähernd gleiche Geschwindigkeit zu finden. Für  $v_0 = 0,323$  m/sec. ergibt sich nach der Kurve 1 a ein Zuschlag von 18%, so dass ein  $v_1$  von  $0,323 + 0,058 = 0,381$  entsteht.

Diesem entspricht auf der Kurve  $\Delta Q_1$ , *Fig. 1*, Beilage II, ein  $\Delta Q = 1,88$  qm. Setzt man dies in die Gleichung

$$v_1 = \frac{\Delta Q_1 + q}{Q - \Delta Q_1 - q} \cdot G$$

so ergibt sich  $v_1 = 0,400$  m/sec. und hierfür nach der Kurve das  $\Delta Q = 2,00$  qm. Setzt man diese Rechnung fort, dann erhält man nach einander:

$$v_1 = 0,405; \quad \Delta Q_1 = 2,08 \text{ qm}$$

$$v_1 = 0,409; \quad \Delta Q_1 = 2,10 \text{ ,,}$$



Der Unterschied zwischen  $\Delta Q_1$  in den beiden letzten Gleichungen von 0,02 qm ist so gering, dass man, ohne die Rechnung fortzusetzen, den Werth von 2,10 qm für  $\Delta Q_1$  als hinreichend genau ansehen kann. Für  $v_1 = 0,41$  m/sec. ist  $v_1 + G = 2,01$  m/sec.

Trägt man nun in *Fig. 4* (Beilage II), die Lage des Displacementsschwerpunktes unter der Wasserlinie mit 0,736 als Abscisse von 0 aus bis  $b$  ab und errichtet dort die gestrichelte Ordinate, zeichnet dann entsprechend ihren Schnittpunkten mit den verschiedenen Kurven die — gestrichelte Kurve in *Fig. 3* und misst auf dieser nach der Abscisse  $v + G = 2,01$  die entsprechende Ordinate, so hat man in ihr das für diesen Fall geltende  $\zeta = 0,000930$ .

Die gefundenen Werthe in die Gleichung eingesetzt giebt

$$W = \zeta \cdot \gamma (\Delta Q_1 L + D) = 0,00093 \cdot (2,10 \cdot 55 + 540) = 640 \text{ kg.}$$

Der Versuch, eine einfache Gleichung für die Kurve der  $\Delta Q_1$  aufzufinden, nach der man wenigstens annähernd deren Werthe ermitteln kann, führte nicht zum Ziel. Es wurde deshalb die scheinbar etwas umständliche Rechnung hier beibehalten.

Der aus der Rechnung hervorgegangene Werth für den Widerstand, den das Schiff unter den gegebenen Bedingungen im Kanal zu überwinden hat, gilt, wie gesagt, nur dann, wenn es genau in dessen Mittellinie fortbewegt wird. Um zu untersuchen, welche Aenderung eintritt, wenn dasselbe Schiff mit seiner Mittelebene 2 m nach S. B. ausserhalb der Mitte des Kanals fährt, muss man beide Seiten von Kanal und Schiff getrennt in derselben Weise einzeln behandeln, wie dies in obigem Beispiel geschah. Dabei ist auch die Einsenkung durch die genannte Ebene getheilt zu denken und deren Werth für beide Theile zu ermitteln. Die Rechnung ergibt:

für B. B.	für S. B.
$v_1 = 0,316$ m/sec.,	$v_1 = 0,601$ m/sec.,
$\Delta Q_1 = 0,75$ qm,	$\Delta Q_1 = 1,72$ qm,
$\zeta = 0,00084$ ,	$\zeta = 0,00112$ ,
$W_1 = 261$ kg,	$W_2 = 406$ kg,

und daraus ist der Gesamtwiderstand

$$W = W_1 + W_2 = 667 \text{ kg.}$$

Der Widerstand ist also um 57 kg grösser geworden; und wenn man auch annehmen muss, dass ein gewisser Ausgleich zwischen den Druckhöhen auf beiden Seiten des Schiffes stattfindet, so bleibt doch noch ein beträchtlicher Unterschied der Einsenkungen der beiden Seiten.

Da die Breite des Kanals in der Wasserlinie 30 m beträgt, würde in diesem Falle die Entfernung vom Ufer bis Mitte Schiff an B. B.  $15 + 2 = 17$  m und an Steuerbord  $15 - 2 = 13$  m betragen. Dividirt man die zugehörigen  $\Delta Q_1$  durch diese Werthe, so ergibt sich die Höhe der Einsenkung  $h$  annähernd für S. B.  $h = 0,133$  und für



B. B. 0,044 m. Der Unterschied zwischen beiden beträgt 0,089 m. Mit dieser Druckhöhe wird das Schiff in seiner ganzen Länge nach S. B. zu seitwärts verschoben, wobei seine Mittelebene im Verhältniss  $\frac{1}{900}$  nach S. B. geneigt ist. Zugleich entsteht durch den Unterschied im Widerstand beider Seiten von 135 kg eine drehende Bewegung des Schiffes mit dem Vorderende nach S. B., der durch das Ruder entgegengewirkt werden muss. Gelingt dies, dann kann das Schiff in dem genannten Abstände von der Kanalmitte weiterfahren, dreht es aber dabei mit dem Vorderende nach der einen oder der anderen Seite, so entstehen sofort andere negative Geschwindigkeiten und Einsenkungen, welche die Drehbewegung verstärken. Es bedarf dann einer gewissen Geschicklichkeit des Rudersmannes, um dem Schiffe die vorgeschriebene Richtung wieder zu geben. So entstehen die Schwierigkeiten beim Steuern in begrenztem Wasser, welche am besten vermieden werden, wenn man immer bestrebt ist, die Mitte des Fahrwassers genau inne zu halten. Fährt man dabei langsam, dann lässt sich der Zweck mittels des Ruders erreichen, fährt man zu schnell, dann lassen sich Gefahren nicht immer verhüten.

Einen Beweis für die annähernde Richtigkeit der nach dieser Methode berechneten Schiffswiderstände liefert nachstehende Tabelle. Darin sind in Spalte 2—4 die Tiefgänge, Geschwindigkeiten und die mittleren Querschnitte des Kanales von neun in Vorstehendem behandelten Versuchen aufgeführt. Spalte 5 und 6 enthält die nach Beilage II, Fig. 1, errechneten  $v_1$  und  $\Delta Q_1$ , Spalte 7 die aus Fig. 2 und 3 abgemessenen  $\zeta$  und Spalte 8 die daraus durch Rechnung gefundenen Widerstände. Zum Vergleich sind in

Lfd. Nr.		T	G	Q	$v_1$	$\Delta Q_1$	$\zeta$	W errechnet	W gemessen	Abweichung vom gemessenen W
		m	m/sec	qm	m/sec	qm		kg	kg	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Emden von Goedhart geschleppt	1,75	1,54	60,20	0,565	3,64	0,001062	1117	1055	+ 5,9
2	" " " "	2,00	1,27	59,38	0,546	3,47	0,000832	975	919	+ 6,1
3	Lloydkahn v. Goedhart geschleppt	2,00	1,33	56,26	0,490	2,90	0,000839	698	639	+ 9,2
4	" " " "	2,00	1,85	58,17	1,010	8,30	0,002030	2290	2132	+ 7,4
5	" " " "	2,25	1,27	57,14	0,579	3,75	0,001020	1000	975	+ 2,5
6	Emden von Dortmund geschleppt	1,75	1,22	58,00	0,412	2,15	0,000650	621	675	- 8,0
7	" " " "	2,25	0,91	59,27	0,406	2,09	0,000538	650	640	+ 1,5
8	Emden und Dortmund von Goedhart geschleppt . . . . .	1,50	1,49	58,62	0,422	2,25	0,000740	1236	1418	- 12,8
9	Emden und Dortmund von Goedhart geschleppt . . . . .	1,75	1,05	58,36	0,329	1,41	0,000465	843	825	+ 2,2

Spalte 9 die vom Dynamometer gemessenen Widerstände aufgeführt. Spalte 10 giebt die Abweichungen in Prozentsätzen.

In Tabelle 3, Spalte 17 Seite 47 folgen die Zugkräfte für die drei ersten Versuche nicht den Geschwindigkeiten in Spalte 4 entsprechend nach einander.



Der Widerstand von 251 kg unter No. 2 muss aus einem unbekanntem Grunde nicht richtig gemessen sein. Auf Beilage II, *Fig. 2*, findet man für die Abscisse  $v_1 + G = 1,555$  (Spalte 21),  $\zeta = 0,00046$  anstatt des errechneten  $\zeta$  von 0,000314. Multipliziert man die Zahl 800 der Spalte 16 für  $\Delta QL + D$  des Versuches No. 2, mit diesem  $\zeta$ , so erhält man einen Widerstand von 368 kg, dessen annähernde Richtigkeit der Vergleich zwischen den ersten vier Widerständen (Spalte 17) beweist.

Die hier entwickelte Theorie des Schiffswiderstandes bietet nicht allein die Mittel, diesen Widerstand für die Fahrt in der Mitte des Kanals zu berechnen, sondern es lassen sich danach auch die Kräfte bestimmen, welche während der Fahrt bei jeder anderen Lage mitwirken.

Für andere Kanäle, deren Querschnitte und Beschaffenheit des Bettes, denen des Dortmund-Ems-Kanals annähernd gleich sind, können die gewonnenen Ergebnisse noch zu Widerstandsberechnungen benutzt werden. Gross dürfen die Abweichungen jedoch nicht sein. Will man die Gesetze finden, nach denen sie für andere Kanäle passend zu ändern sind, dann bedarf es dazu weiterer Versuche. Dasselbe gilt auch für den Widerstand in Flussläufen etc., die hier entwickelte Theorie gilt dafür zweifellos, und wahrscheinlich auch für die Fahrt im freien Wasser. Anzeichen dafür sind in den Veröffentlichungen über Probefahrtsergebnisse von Dampfschiffen bereits vorhanden. Ferner beweisen die bereits erwähnten Versuche von Froude und Thornycroft das Vorkommen der Einsenkung auf tiefem Wasser. Bei Probefahrten von Kriegs- und Handelsschiffen hat sich herausgestellt, dass es unmöglich ist, oder mindestens unverhältnissmässig grosse Kraft erfordert, auf geringen Wassertiefen grosse Geschwindigkeiten zu erreichen.

Beispiele hierfür giebt der Chief Constructor of the Royal Navy, Sir William White in seinem Manual of Naval Architecture von 1894. Es heisst dort Seite 467, Absatz 1:

„Ein Torpedo-Kanonenboot der Royal Navy wurde zweimal auf derselben gemessenen Meile an demselben Tage erprobt. Zur Zeit der höchsten Fluth erreichte es 17,8 Knoten Geschwindigkeit, während diese bei Ebbe einen vollen Knoten geringer war. Die grösste Wassertiefe war ungefähr 9 und die kleinste 8 Faden.

Auf der gemessenen Meile in Stockes Bay lief der Kreuzer Edgar mit 13 260 I. P. S. 20½ Knoten in 12 Faden Wassertiefe und in diesem flachen Wasser wurde das Schiff von einem bedeutenden Wellen-Phänomen begleitet. In 30 Faden Wassertiefe zwischen Plymouth und Falmouth war die Wellenerscheinung viel geringer und das Schiff erreichte 21 Knoten mit 12 550 I. P. S.

Während der Probefahrten des Kreuzers Blenheim betrug die Wassertiefe in der ersten Stunde höchstens ca. 9 Faden, die Maschinen machten



92 $\frac{1}{2}$  Umdrehungen in der Minute und entwickelten 15750 I. P. S., dabei betrug die Geschwindigkeit des Schiffes 20 Knoten. Unter diesen widrigen Umständen war das Wellenphänomen höchst auffallend und ungewöhnlich. Später während derselben Probefahrt, lief das Schiff in Wassertiefen von 22 bis 36 Faden mit derselben Maschinenkraft, wie die der ersten Stunde, jedoch in Folge der grösseren Wassertiefe bei 96 $\frac{1}{2}$  Umdrehungen pro Minute bis zu 21,5 Knoten.“

Diese und viele ähnliche Beobachtungen führten zu der Ueberzeugung, dass zu geringe Tiefen des Wassers auf die Geschwindigkeit der Schiffe nicht unbedeutenden Einfluss haben.

Die von den Sachverständigen fast allgemein angenommene Ansicht, nach welcher der Ausgleich des Wassers vor und hinter dem sich fortbewegenden Schiff in Wellenform vor sich gehe, macht es erklärlich, dass man die bei den oben geschilderten Probefahrten beobachteten Erscheinungen aus der Wellentheorie herleiten wollte. So entstand die Meinung, dass zu geringe Wassertiefen die Wellenbewegung beeinträchtigt und dadurch der Schiffswiderstand vergrössert werde. Wahrscheinlicher ist, dass die negative Strömung, die auch in freiem Wasser entstehen muss, die Vergrösserung des Widerstandes auf flachem Wasser durch Reibung am Meeresboden erzeugte.

Die Ergebnisse der Probefahrten der geschilderten Art lieferten bis jetzt noch kein Material für den Beweis der Richtigkeit der hier ausgesprochenen Vermuthung. Sie lässt sich nur durch eingehende Versuche nachweisen. Liefern derartige Versuche die Mittel zur Herstellung der  $\Delta Q$ - und  $\xi$ -Kurven, dann muss die oben entwickelte Theorie über den Schiffswiderstand sich noch viel besser für die Fahrt auf freiem Wasser verwerthen lassen. Da hierbei die vielfach wechselnde Reibung an der Kanalsole und an den Böschungen fortfällt, so würden nur die Widerstände der Reibungen der benetzten Schiffsoberfläche und der Wassertheilchen unter sich, die hier viel gleichmässiger auftreten als im begrenzten Wasser, in Rechnung zu ziehen sein.

#### B. Wirkung der Einsenkung auf die Bewegung der Schiffe.

Merkwürdig ist, dass der grösste Theil der Erscheinungen bei der Fortbewegung von Schiffen in begrenztem oder freiem Wasser, schon so lange die Schifffahrt besteht bekannt war, dass man auch vielfach die Mittel kannte, welche ihren schädlichen Einflüssen entgegenwirkten, dass aber über ihrer Entstehung vollständiges Dunkel lag. Auf Flüssen und Kanälen berührten die Segel- und Ruderschiffe schon in alter Zeit mitunter den Grund, und wenn man die Wassertiefe untersuchte, war sie grösser, als der Tiefgang der Schiffe. Sie steuerten auf flachem Wasser und besonders in verhältnissmässig schmalen Flüssen und Kanälen schlecht, was oftmals die Ursache von Kollisionen gewesen ist. Langwierige Prozesse entstanden daraus, in denen viele Gutachten von Sachverständigen die Grundlage für Urtheile gebildet haben, obgleich Niemand recht wusste,



welche Ursachen der Ablenkung der Schiffe von ihrem richtigen Wege zum Grunde lagen. Man sprach einfach von einem „Sog“, den das Schiff erzeugte, oder von dem „Absetzen des Ufers“, als wenn das Ufer der handelnde Theil gewesen wäre, der den Schaden verursachte. Sog hiess ursprünglich bei den Holländern das Kielwasser des Schiffes, und heute bezeichnet man damit ein unbestimmbares Etwas, das im Verborgenen wirkt, so dass man nicht im Stande ist, diesen Uebelthäter zu erkennen und zu fassen.

Diese, sowie eine Anzahl anderer Erscheinungen bei der Schifffahrt sind klar erkennbar aus der Einsenkung der Schiffe während der Fahrt, die durch den negativen Strom an den Schiffsseiten erzeugt wird.

Wir wissen, dass diese Einsenkung schon seit 1874 bekannt ist, ihr Umfang und ihr Einfluss auf die Schifffahrt konnte jedoch erst durch die grosse Zahl von Beobachtungen und deren photographische Festlegung bei Gelegenheit der Versuche auf dem Dortmund-Ems-Kanal nachgewiesen werden. Die Versuche im Kleinen auf den Versuchstanks beziehen sich jetzt vielfach auf die Aenderung des Trimmings während der Fahrt der Schiffe, und man findet dabei sicher auch das vollständige Sinken der Modelle, wie Froude es bereits nachgewiesen hat, aber die Maasse sind zu klein, um welche es sich insbesondere bei der Einsenkung handelt, so dass man bei der unvermeidlichen Bewegung der Wasseroberfläche schwerlich den annähernd richtigen Inhalt der Einsenkung durch solche Versuche feststellen kann. Die grössten Modelle, welche für den jetzt neu eingerichteten Versuchstank auf der Staatswerft der Vereinigten Staaten von Nord-Amerika in Washington erprobt werden können, sind 20 engl. Fuss lang, d. i. die grösste bis jetzt vorgekommene Länge. Wenn diese einen der neuesten Kreuzer der Marine von ca. 360 Fuss Länge vorstellen sollen, würde 1 cm der Länge des Modelles, also auch alle damit zusammenhängenden Maasse  $\frac{1}{30}$  cm = 0,3 m/m betragen, so dass ein Abmessen von Pegeln an dem Modell in cm wohl schwerlich mit nur annähernder Genauigkeit möglich sein dürfte. Noch weniger ist dies der Fall, wenn die Proben mit einem solchen Modell als Grundlage für die Feststellung der Einsenkung dienen sollten, welche ein Schnelldampfer von 700 Fuss Länge bei 23 Knoten Geschwindigkeit erzeugt. In diesem Falle würde der Maassstab nur

$$\frac{12}{700} = \frac{1}{60} \text{ der natürlichen Grösse}$$

und 1 cm = 0,17 m/m sein. Demnach kann man eine auch nur einigermaassen zuverlässige Feststellung der Einsenkung durch die Modellversuche nicht erreichen. Umso mehr ist es zu schätzen, dass die hier in Rede stehenden Versuche angestellt wurden, aus denen das Wesen der für die gesammte Schifffahrt so viel bedeutenden Einsenkung erkennbar, und ihr Maass sich wenigstens annähernd richtig bestimmen lässt.

Die eigenthümliche Wirkung, welche die Einsenkung auf fast alle Bewegungen der Schiffe im Wasser ausübt, erklärt sich am einfachsten, wenn man sich, wie auf



Seite 71 ausgeführt, die auf beiden Seiten eines im Kanal fahrenden Schiffes in negativer Richtung strömenden Wassermassen als in zwei von einander unabhängigen Flussläufen sich bewegend, vorstellt. Es kann in beiden, wie wir gesehen, die Geschwindigkeit des Wassers und mit dieser die Einsenkung der Wasseroberfläche von einander verschieden sein. Ist dies der Fall, dann entsteht natürlich eine Neigung des Schiffes nach der Seite, deren Einsenkung die grösste ist, und es gleitet gleichsam auf einer geneigten Ebene oder in einer Strömung, deren Gefälle für die Schiffsbreite die Differenz der beiden Einsenkungshöhen ist, herab.

Durch die Verschiedenheit der Querschnitte oder der Reibung an den Seiten des Schiffes ist ferner eine Verschiedenheit der Einsenkungen an einzelnen Stellen, insbesondere am Vor- und Hinterschiffe, denkbar, und diese kann vorn am Steuerbord und hinten am Backbord die grösste sein, oder umgekehrt. Hieraus müssen Drehbewegungen der Schiffe entstehen, und so ist eine ganze Reihe von Kombinationen denkbar, welche auf die Bewegung der Schiffe verschiedenartigen Einfluss haben können.

Dies gilt aber nicht allein für Kanäle und Flussläufe, sondern überall, wo fließendes Wasser vorkommt. Man findet die Einsenkungen in den Strömen, welche sich durch stillstehende Gewässer bewegen, also in Meeresströmungen und somit auch bei den Strömungen, welche die Schiffe durch ihre Fortbewegung in unbegrenztem Wasser erzeugen.

Im Nachstehenden sollen die hauptsächlichsten Erscheinungen besprochen und erklärt werden, welche direct aus den verschiedenen Einsenkungen entstehen.

#### 1. In begrenztem Wasser.

a. Schwierigkeiten beim Steuern. Gleich bei Beginn der Versuche auf dem Dortmund-Ems-Kanal, insbesondere bei den Bemühungen, die Mitte des Fahrwassers inne zu halten, zeigten sich bei dem aus Goedhart und Emden gebildeten Schleppzug Schwierigkeiten beim Steuern. Selbst bei Geschwindigkeiten von nur 1 m/sec. bei 1,50 m Tiefgang erforderte es schon eine Anstrengung der Rudersleute, den Emden aus seiner Ruhelage an der Seite des Kanales, nachdem der Schleppdampfer angezogen hatte, mittels des Steuerruders auf die Mitte des Kanales zu bringen. Sobald dies gelungen, war immer noch grosse Aufmerksamkeit nöthig, um die Mittellage, welche für die Versuche nothwendig war, auf der weiteren Fahrt beizubehalten. Diese Erscheinungen steigerten sich mit Zunahme der Geschwindigkeit sowohl, wie des Tiefganges und machten es nöthig, dass die sämtlichen Schiffe des Schleppzuges vor Beginn der Fahrt auf die Mitte des Kanales gelegt werden mussten. Trotzdem gelang es nur in verhältnissmässig wenigen Fällen, beim Durchfahren der Versuchsstrecke die Mitte annähernd genau inne zu halten, wie sich aus den Angaben auf den Tafeln über die Lage



der Schiffe zur Kanal-Mitte in dem Augenblick der photographischen Aufnahme ersehen lässt.

Die Bemühungen, die Versuchsschiffe durch Steuern in der Mittellinie des Kanales zu erhalten, waren nicht allein bei Vergrößerung der Schiffs-Geschwindigkeiten weniger von Erfolg, sondern es wuchs dabei auch die Schwierigkeit, sie mittels des Ruders wenigstens den Ufern parallel liegend zu erhalten. Immer grösser wurden die Winkel, welche die Schiffslage mit ihnen bildete, so dass der Schleppdampfer durch seitliches Abbiegen den richtigen Kurs wieder herzustellen versuchte, und wenn auch dies nicht gelang, lief das Versuchsschiff mit dem Bug auf die Böschung des Kanalufers fest, womit dann der Versuch abgebrochen werden musste.

Die Lichtdruckbilder auf den Tafeln zeigen die allmähliche Steigerung der Schwierigkeiten beim Steuern durch dunkle Stellen auf der Wasseroberfläche in den Aufnahmen der Strecken hinter den Schiffen an. Man sieht an ihnen zum Theil noch die Ruderlage, welche die sie kenntlich machenden Wirbel erzeugte, und diese vergrössern und vervielfältigen sich mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit. Am besten sieht man diese Ruderwirkungen auf den *Tafeln 14, 17 u. 23*, welche die Versuche darstellen, bei denen keine durch Wind erzeugten Wellen störend einwirkten.

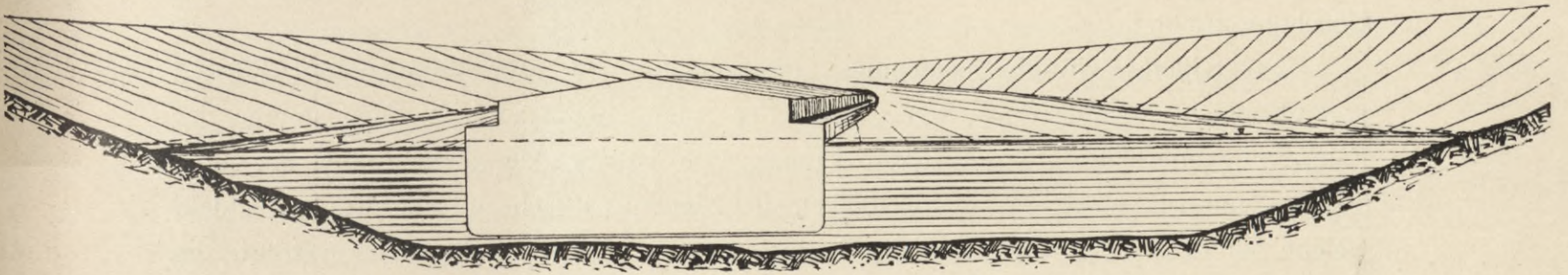


Fig. 23.

b. Seitliche Verschiebung der Schiffe. Während der Versuche wurde der Grund für diese Erscheinung nicht erkannt, erst aus der Zusammenstellung der Ergebnisse, insbesondere aus dem eingehenden Studium der Einsenkungen ergab sich, dass die Schwierigkeiten beim Steuern hierdurch entstanden. Ein Blick auf *Textfigur 23* zeigt sofort die oben besprochene Ungleichheit der Einsenkungshöhen an den beiden Seiten des parallel aber seitlich von der Mittellinie des Kanales fahrenden Schiffes. Es liegt dem Ufer an S. B. näher, wie dem an B. B., und weil das Schiff das seine Fortbewegung hindernde Wasser zu gleichen Theilen nach beiden Seiten schiebt, so muss die negative Geschwindigkeit am S. B. grösser, als am B. B. werden. Dementsprechend entsteht an B. B. eine geringere Einsenkungshöhe, wie an S. B., und es liegt in der Differenz beider ein Gefälle, welches das ganze Schiff, das nach S. B.



hinneigt, gleichsam auf einer geneigten Ebene dem S. B. Ufer zuschiebt. Je weiter dies geht, desto mehr verkleinern resp. vergrössern sich die Querschnitte zwischen Ufer und Schiff, dadurch wächst die Differenz der negativen Geschwindigkeiten, sowie der Einsenkungshöhen und damit die Neigung des Schiffes, mit welcher es dem Ufer immer schneller zustrebt.

c. Wirkung des Ruders wird ungenügend. Wird nun durch B. B. Ruder versucht, wieder nach der Mitte zu gelangen, dann vergrössern sich die seitlichen Querschnitte vor der Mitte der Schiffslänge an S. B., während dieselben an B. B. kleiner werden, und hinter der Mitte tritt das Gegenteil ein. Hierdurch entsteht am Heck, das dem S. B. Ufer am nächsten liegt, die grösste Einsenkung, während die kleinste sich an B. B. bildet, welche das Hinterende des Schiffes mit immer grösserer Geschwindigkeit dem S. B. Ufer zuschiebt. Hat der Bug dabei die Mitte des Kanals erreicht, dann ist der Druck dort an beiden Seiten ziemlich gleich, und es ist möglich, durch S. B. Ruderlage das Schiff wieder in die richtige Lage zu bringen. Geht es jedoch über diese vermittels des zu grossen Drehmoments hindurch, dann wirken die nun entstehenden Einsenkungshöhen auf eine der früheren entgegengesetzten Drehung des Schiffes hin, welche, mit dem Drehmoment gemeinschaftlich, leicht jede ihr entgegenarbeitende Ruderwirkung aufhebt und bei weiterer Fortbewegung des Schiffes in der Längsrichtung seinen Bug auf die Böschung treibt.

So erklärt sich die Erscheinung, die schon so oft zu Kollisionen, auf Flüssen und Kanälen Veranlassung war, und der man nur durch Verlangsamung der Fahrgeschwindigkeit entgegenwirken kann. Das ist im Allgemeinen bei Seeleuten bekannt, nur ist es schwer, in Streitfällen, bei denen es sich um die Frage handelt, welche der beiden bei einer Kollision beteiligten Parteien die Schuld daran trägt, die Geschwindigkeit festzustellen, mit welcher die betreffenden Fahrzeuge fortbewegt wurden. Nachdem jetzt durch Kenntniss von den Eigenschaften der Einsenkung die Ursache des schlechten Steuerns lediglich \*in der zu grossen Geschwindigkeit zu suchen ist, mit welcher das von einem Ufer zum anderen getriebene Schiff gefahren ist, muss immer dem Schiffsführer die Schuld an der Kollision zugeschrieben werden, dessen Schiff dem Ruder nicht folgte, denn er fuhr mit zu grosser Geschwindigkeit für die obwaltenden Umstände. Natürlich haben beide die Schuld zu tragen, wenn beide Schiffe nicht dem Ruder gehorcht haben, also zu schnell gefahren sind.

d. Absetzen vom Ufer. Die Versuchsergebnisse lieferten auch die Unterlagen zu folgender Darstellung, in welcher die Kräfte, die in einem solchen Falle zur Wirkung kommen, berechnet sind.

Angenommen ist, das Schiff Dortmund fahre mit 1,50 m Tiefgang in einem Kanal, dessen Profil demjenigen des Dortmund-Ems-Kanals gleich ist, mit 1,10 m/sec.



Geschwindigkeit durch die eigene Maschine fortbewegt, in der auf dem Lageplan angegebenen Richtung zu dessen Mittellinie. Hiernach wurden die negativen Stromgeschwindigkeiten nach der Formel

$$v = \frac{\Delta Q + q}{Q - \Delta Q - q} \cdot G$$

berechnet, in welcher:

- v die negative Geschwindigkeit,
- G die Schiffsgeschwindigkeit,
- Q den Kanalquerschnitt,
- q den jedesmaligen Schiffsquerschnitt,

bedeuten. Die hieraus sich ergebenden Kanalquerschnitte, negativen Stromgeschwindigkeiten und diesen entsprechenden Einsenkungshöhen sind in *Tafel 77 Fig. 1* durch Zeichnung dargestellt. Darin ist A B die normale Wasserlinie im Kanal, mit der Schiffslänge identisch. Von dieser sind die an S. B. und B. B. von der Mittellinie des Schiffes aus für das Wasser verbleibenden Querschnitte als Ordinaten aufgetragen und durch die Kurven a b und c d sind deren Endpunkte mit einander verbunden. Die hieraus für B. B. und S. B. sich ergebenden negativen Geschwindigkeiten, sowie die Einsenkungshöhen sind ebenfalls von A B als Abscisseaxe aufgetragen und hieraus die Kurven A B C und A D B entstanden. Die von letzteren und der Abscissenaxe eingeschlossenen Ebenen haben die Figur A E B gemeinschaftlich, und der aus diesem Theil der Einsenkung sich ergebende Druck ist als gegenseitig aufgehoben zu betrachten. Die von A E C eingeschlossene Ebene ist als die auf B. B. entstandene Ueberdruckfläche, und A E D als diejenige, welche an S. B. entstand, anzusehen. Beide sind durch verticale Parallelstriche noch besser gekennzeichnet, doch sind die für B. B. in den halben Abständen der für S B geltenden von einander aufgetragen worden.

Ihre Berechnung ergibt für

B. B. vorn  $4,56 \sim 4,60$  qm und

S. B. hinten  $5,74 \sim 5,70$  qm,

$s_1$  und  $s_2$  bezeichnen die Schwerpunkte dieser Druckflächen, welche für

B. B.  $0,187$  m und für

S. B.  $0,211$  m

unter dem normalen Wasserspiegel liegen.

Bezeichnet F die Druckfläche, z den Schwerpunktsabstand in Metern und  $\gamma$  das specifische Gewicht des Wassers, das hier gleich 1 angenommen werden soll, so ergeben sich die Druckkräfte für

B. B. =  $4,60 \cdot 0,187 = 0,86$  t und für

S. B. =  $6,70 \cdot 0,211 = 1,20$  t.



Die Entfernung der Schwerpunkte der Wasserdrucke vom Systems-Schwerpunkt des Schiffes beträgt 19,20 m und deshalb sind die Drehmomente für:

$$\begin{aligned} \text{B. B. } & 860 \text{ kg} \cdot 19,20 \text{ m} = 16512 \text{ mkg} \\ \text{S. B. } & 1200 \text{ „} \cdot 19,20 \text{ „} = 23075 \text{ „} \text{ , also} \\ & \text{Gesamtdrehmoment } \quad 39587 \text{ mkg.} \end{aligned}$$

Das diesem entgegenwirkende Rudermoment bei hart Steuerbord Ruderlage berechnet sich, wenn die Wassergeschwindigkeit am Hintersteven

$$v = 2 \text{ m/sec}$$

angenommen wird, (wobei zu der dort wirkenden negativen Geschwindigkeit die Schiffsgeschwindigkeit, sowie die Geschwindigkeit des Kiel- und Schraubenwassers hinzuge-rechnet ist) und

$$\begin{aligned} & \text{die Ruderfläche mit } f = 7,91 \text{ qm,} \\ & \text{der Ausschlagwinkel } \alpha = 40^\circ \end{aligned}$$

beträgt, nach Weisbach, unter Einsetzung der Werthe für  $f$ ,  $v$  und  $d$ , in die Formel für den Ruderdruck

$$34,5 \cdot f \cdot v^2 \sin \alpha (1 - \cos \alpha) = 624 \sim 620 \text{ kg.}$$

Da der Abstand der Druckrichtungslinie des Ruders vom Systems-Schwerpunkte 26,2 m beträgt, so ergibt sich das Ruderdrehmoment zu

$$620 \text{ kg} \cdot 26,2 \text{ m} = 16230 \text{ mkg,}$$

d. i. noch nicht die Hälfte des durch die verschiedenen Einsenkungshöhen entstehenden Drehmoments.

In vorstehender Rechnung ist die Ausgleichung des Druckunterschiedes der beiden Schiffsseiten nicht berücksichtigt. Diese muss das Gesamt-Drehmoment wesentlich verkleinern, weil Geschwindigkeit und Tiefgang gering sind. Wahrscheinlich wird sich deshalb der verbleibende Rest des Drehmomentes noch durch das Ruder bewältigen lassen und dadurch das Schiff vor dem Einlaufen in die Böschung bewahrt bleiben. Das Absetzen vom S. B. Ufer ist aber nicht zu vermeiden. Wird in solchem Fall die negative Stromgeschwindigkeit noch durch Verstärkung der Maschinenkraft vergrößert, wie vielfach geschieht, dann ist das Einlaufen in das gegenüberliegende Ufer oder eine Kollision mit einem entgegenkommenden Schiff unvermeidlich. Eine Verstärkung der Maschinenkraft ist unter solchen Umständen durchaus unrichtig, weil sie das Gegentheil von dem erzeugt, was man damit erreichen will.

Wenn demnach der Führer eines in begrenztem Wasser fahrenden Schiffes sieht, dass es Schwierigkeiten macht, mittelst des Steuerruders schon in der Mitte des Fahrwassers den richtigen Kurs aufrecht zu erhalten, so muss er, wenn er einem entgegenkommenden Schiffe ausweichen will, ganz langsam fahren und die treibende Kraft möglichst abstellen, bevor er sich dem Ufer oder auch nur dem anlaufenden Grunde nähert, denn wird sein Schiff vom Ufer abgesetzt, so ist nicht das Ufer die Veranlassung, sondern die für die obwaltenden Verhältnisse zu schnelle Fahrgeschwindigkeit seines Schiffes.



e. Krängung der Schiffe bei Zusammenstößen. Die Neigung, welche Schiffe annehmen, wenn ungleiche Einsenkungen sich an ihren Seiten gebildet haben, ist für gewöhnlich so klein, dass man sie ohne ein dazu geeignetes Instrument nicht erkennen kann. Anders ist es jedoch, wenn ein in Fahrt befindliches Schiff dem Ufer, oder gar einem anderen in gleicher Richtung fahrenden Schiffe nahe kommt. Dann wird die Einsenkungshöhe zwischen beiden Schiffen oder zwischen Schiff und Ufer durch die bedeutende dabei entstehende negative Geschwindigkeit so gross, dass ein Ueberneigen recht deutlich sichtbar ist. Dies ereignete sich bei einer

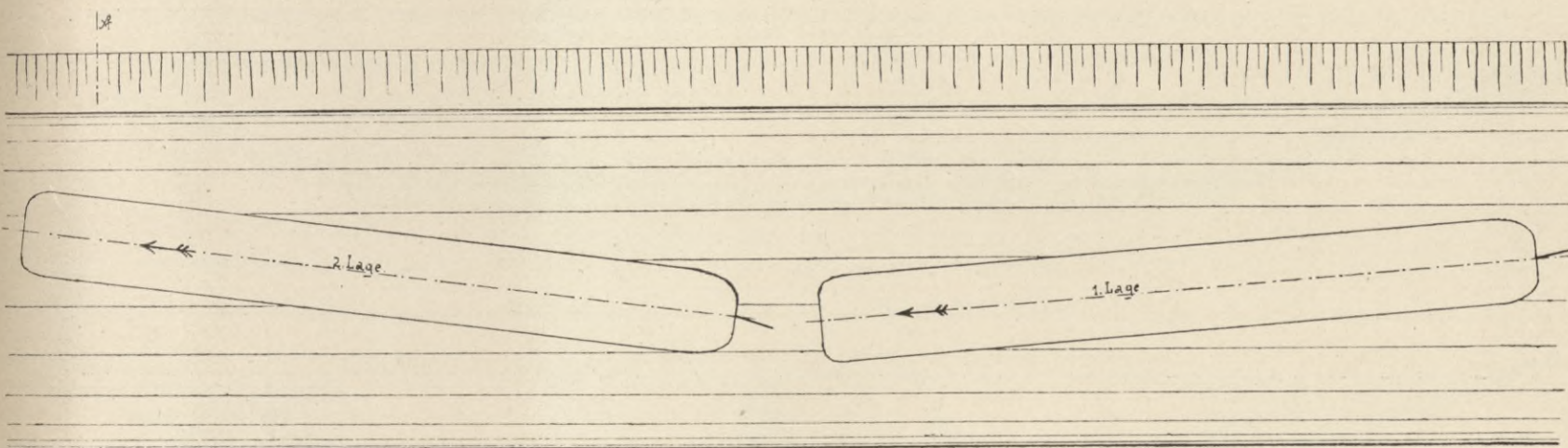


Fig. 24.

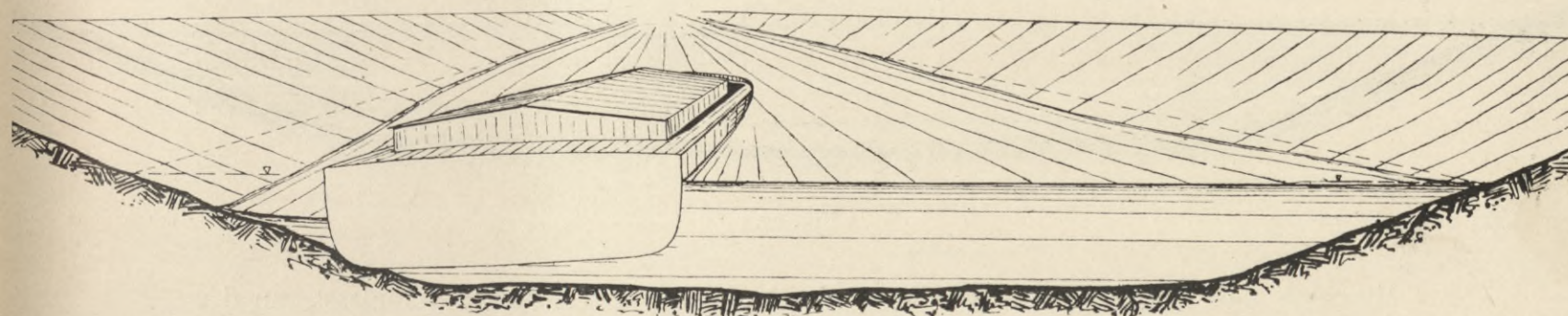


Fig. 25.

Versuchsfahrt, bei welcher der Lloydkahn mit 1,75 m Tiefgang von dem volle Kraft fahrenden Goedhart geschleppt wurde. Der Kahn lief nach mehreren Hin- und Herfahrten auf das linke Kanalufer, nachdem er kurz vorher sich ersichtlich nach S. B. übergelegt hatte. Die lebendige Kraft der mit negativer Geschwindigkeit an S. B. fliessenden Wassermengen war bei diesem Auflauf so gross, dass sie sich zwischen dem feststehenden Schiff und dem Ufer noch lebhaft nach hinten zu weiter bewegte, wobei das Wasser vorn fast bis auf den Grund abliefe. Die *Textfiguren 24* und *25* sollen zur Erläuterung dieser Erscheinungen und ihrer Ursachen dienen.



f. Ueberholen eines Schiffes durch ein schneller fahrendes. Wenn ein Schiff schneller, als ein ihm voraufgehendes fährt, und diesem vorbeilaufen will, muss es ein vorgeschriebenes bestimmtes Signal geben, welches das andere Schiff zu beantworten hat, worauf letzteres, wenn es nicht durch Umstände gezwungen ist, seinen Weg beizubehalten, dem nachfolgenden den Weg frei machen und nach S. B. ausbiegen, zugleich aber auch einen langsamern Gang annehmen muss. In *Textfigur 26* ist gezeigt, wie der Schleppdampfer *Goedhart* dem *Dortmund*, welcher mit eigener

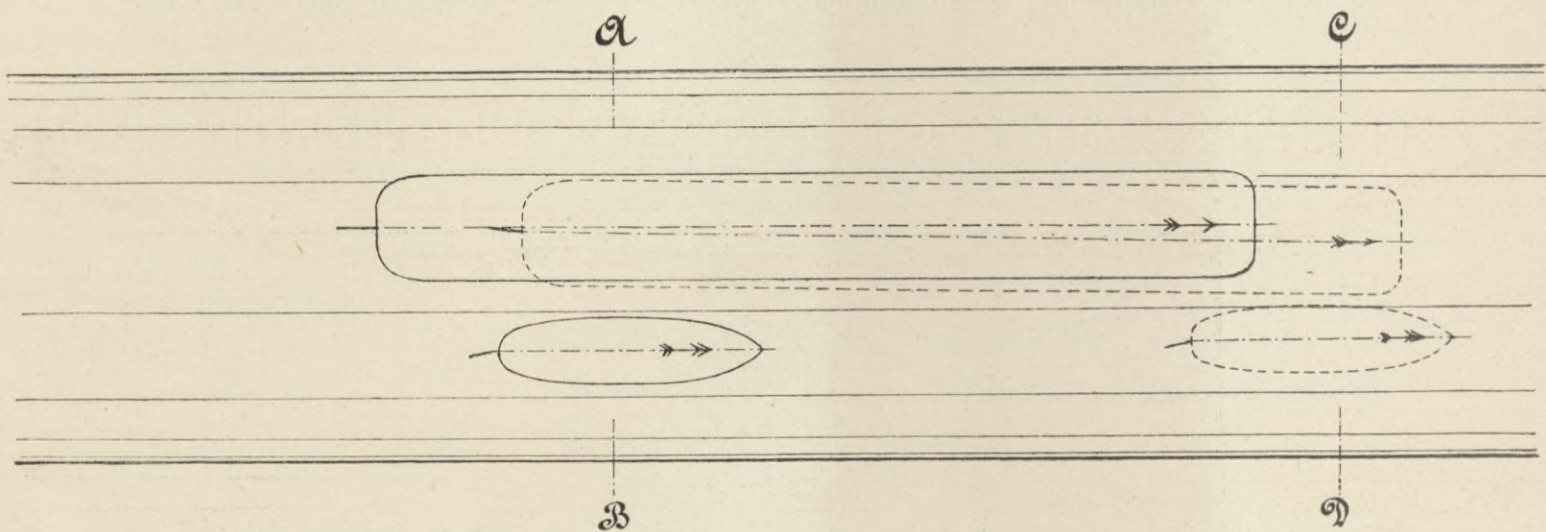


Fig. 26.

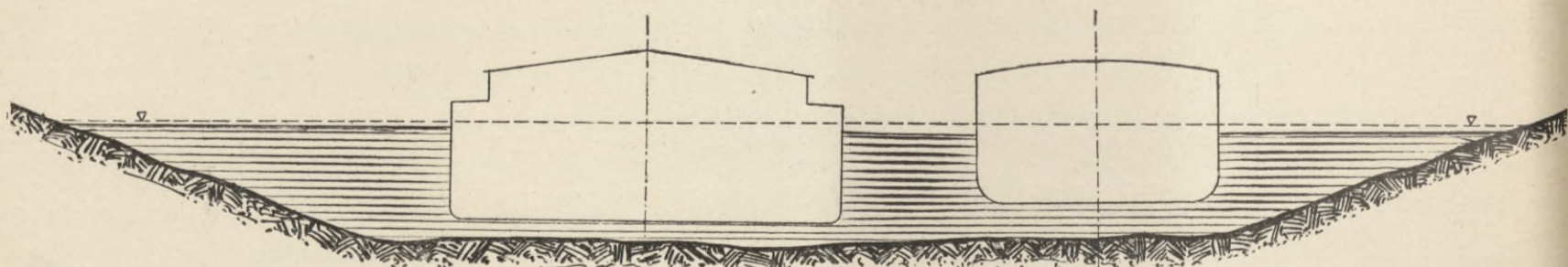


Fig. 27.

Maschine sich fortbewegte, allerdings, durch besondere Umstände veranlasst, an der unrichtigen Seite vorbeifährt. *Dortmund*, welcher *Emden* im Schlepptau hatte, konnte nicht genügend nach der Seite ausweichen, doch erreichte *Goedhart* mittels seiner stärkeren Maschine dessen Hinterende und bekam den Befehl, vorauf zu laufen, um den Weg frei zu machen. Dabei hatten beide Schiffe die im Querschnitt *Textfigur 27* gezeigte Lage zu einander, doch näherten sich beide langsam dem rechten Kanalufer. Als dann *Goedhart* seine Maschinenkraft vermehrte und schneller lief, wurde die negative Geschwindigkeit zwischen beiden Schiffen sehr gross, und sie näherten sich einander schneller, indem sie eine geneigte Lage zu einander annahmen, wie in *Textfigur 28* dargestellt. Inzwischen hatte *Goedhart* das Vorderende von *Dortmund* bei *C D* erreicht, und beide wurden nunmehr gegen das Ufer gedrängt, wobei sie sich noch weiter gegen



einander neigten. Jetzt erst liess man, was eigentlich schon früher hätte geschehen müssen, die Maschine auf Dortmund ganz langsam gehen, damit Goedhart vorne herauskommen konnte und dann auch schnell ausser Gefahr war, während Dortmund den früheren Gang wieder annahm.

In den *Textfiguren 27, 28 u. 30* sind zwischen den Ufern und den Schiffen, sowie zwischen ihnen selbst, in den Querschnitten die verschiedenen Geschwindigkeiten durch stärkere und schwächere Horizontalstriche angedeutet. Diese sind an den Enden spitz

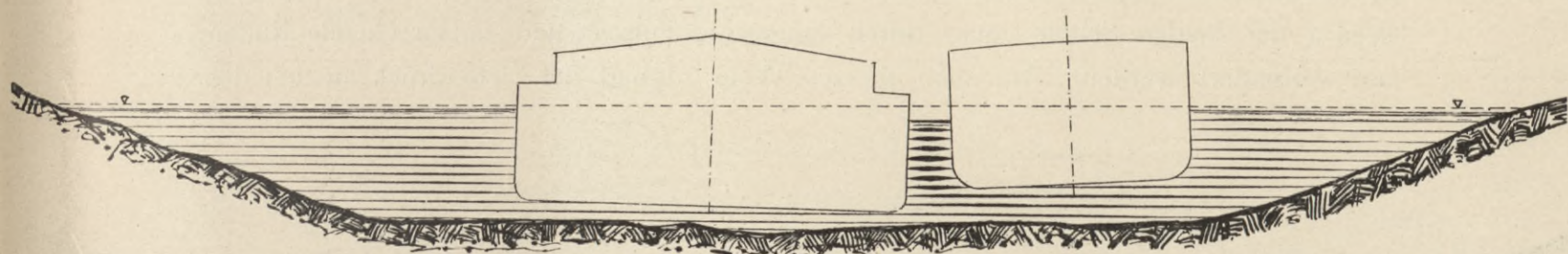


Fig. 28.

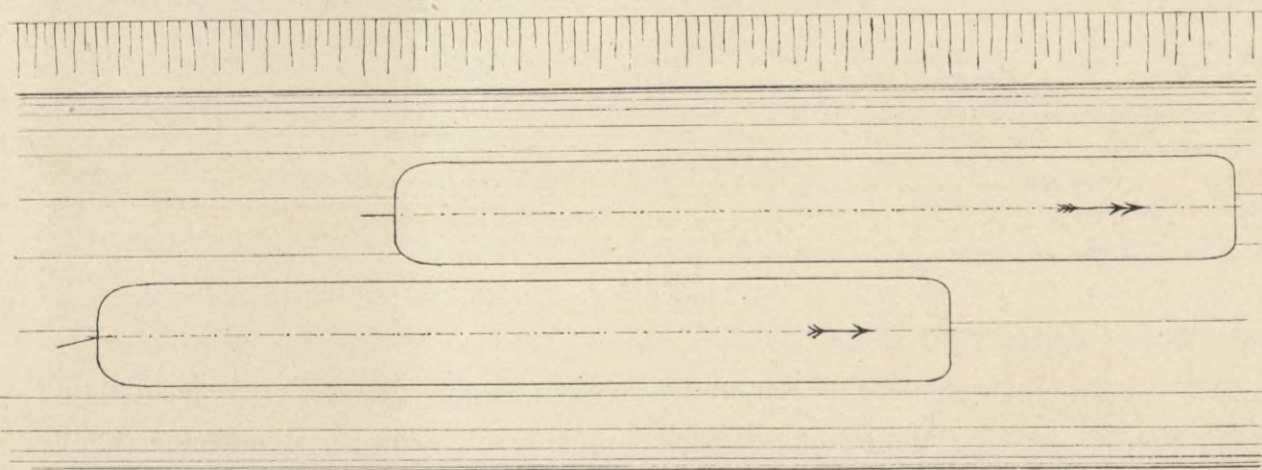
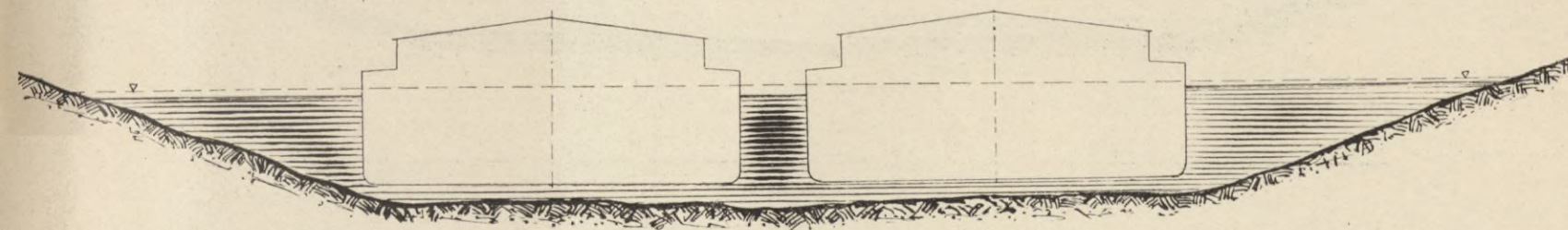


Fig. 29.

auslaufend gezeichnet, um die in Folge der Reibung an den Kanal- und Schiffswänden dort verminderten Geschwindigkeiten zu markiren. Die verschiedenen Einsenkungen der Wasseroberfläche erkennt man aus ihrem Abstand von der den Normal-Wasserstand im Kanal bezeichnenden, gestrichelten horizontalen Linie.

Weit schwieriger ist das Ueberholen eines Schiffes der Dortmund-Klasse, durch ein anderes derselben Grösse. Wie man in *Textfigur 29* sieht, nehmen die Querschnitte



der beiden 2 m tief beladenen Schiffe mehr als die Hälfte des ganzen Kanalquerschnittes ein. In solchem Falle muss das voraufgehende Schiff ganz stoppen und das andere ihm möglichst langsam vorbeigehen, denn hier ist die negative Geschwindigkeit, also die Einsenkung zwischen beiden so gross, dass ohne die angegebene Vorsicht beide Schiffe hart aneinander gedrängt werden, wodurch mehr Zeit verloren geht, als wenn rechtzeitig gestoppt wird.

Erreicht das Vorderende des auflaufenden Schiffes das Hinterende des vorübergehenden, dann entsteht zwischen beiden sofort eine starke Einsenkung. Das Zusammenstossen der beiden Schiffe muss durch langsames Fahren und entsprechende Ruderlage verhindert werden. Auf dem ganzen Wege drängt der Ueberdruck an den den

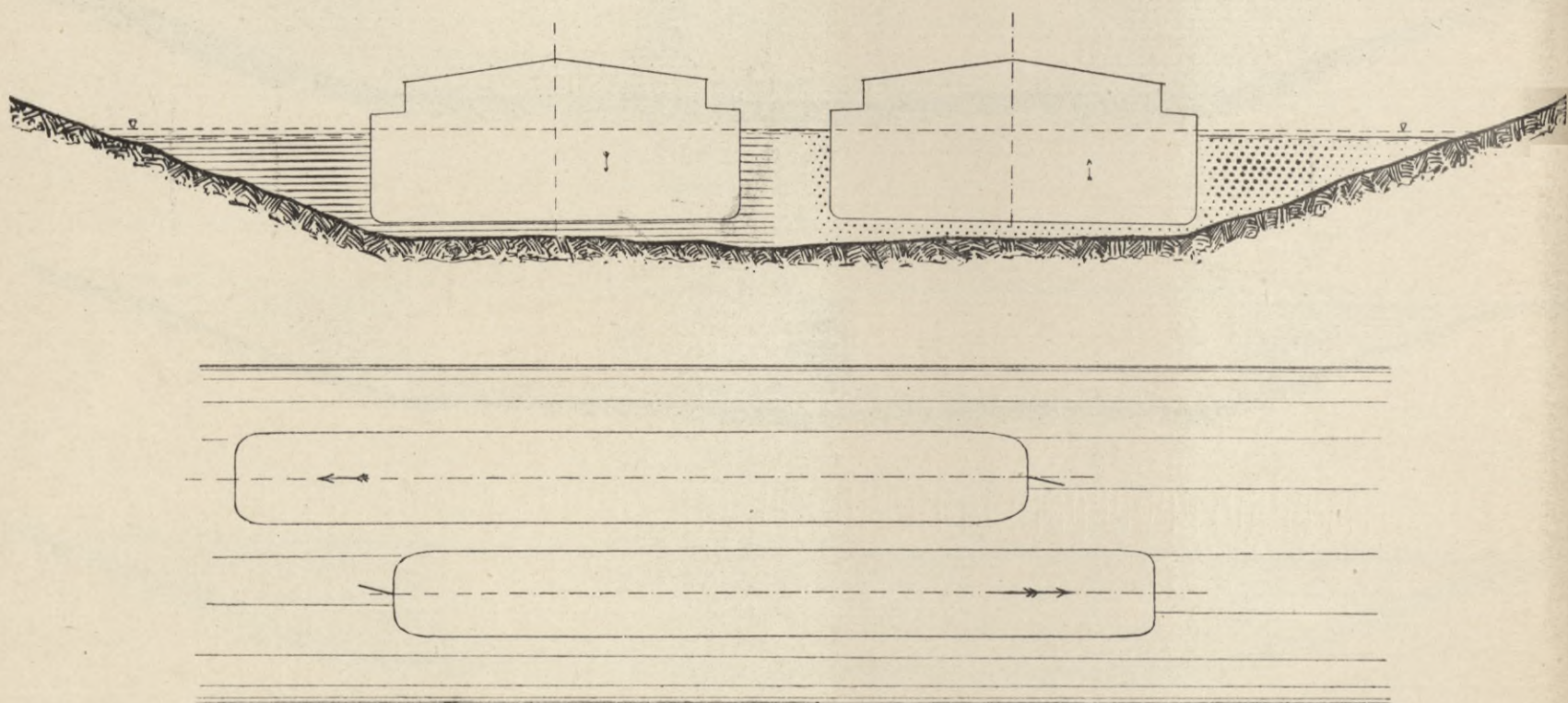


Fig. 30.

Kanalufem zugewandten Seiten die Schiffe zusammen, wenn dieser Druck nicht durch langsames Fahren auf ein Mindestmaas eingeschränkt wird. Am meisten laufen Schiffe hierbei Gefahr, im Beginn oder am Ende der Vorbeifahrt zusammenzustossen, weil der Ueberdruck sie leichter dreht, als seitwärts schiebt.

g. Begegnungen. Ganz das Entgegengesetzte findet statt, wenn zwei Schiffe sich auf ihrem Wege begegnen.

*Textfigur 30* stellt zwei einander begegnende Schiffe der Dortmund-Klasse vor, zwischen denen die negativen Geschwindigkeiten einander aufheben, weil sie nach entgegen gesetzten Richtungen laufen. Hierdurch wird der Wasserstand zwischen den



Schiffen der normale, aber zwischen ihnen und den Ufern befinden sich die den Geschwindigkeiten entsprechenden Einsenkungen. Fahren die Schiffe langsam, so können sie bei den dadurch bedingten geringen Druckunterschieden ihren Weg ohne Gefahr durchlaufen, fahren sie zu schnell, dann werden sie an das Ufer gedrängt und dabei gedreht, nur nicht in dem Momente, in welchem ihre Längen sich decken. Dreht eines von ihnen oder beide, dann ist ein Zusammenstoss wahrscheinlich die Folge.

Die Ruder beider Schiffe liegen bei Begegnungen gewöhnlich B. B., um die parallele Lage zu einander aufrecht zu erhalten, Unfälle lassen sich aber nur durch langsames Fahren mit Sicherheit verhüten.

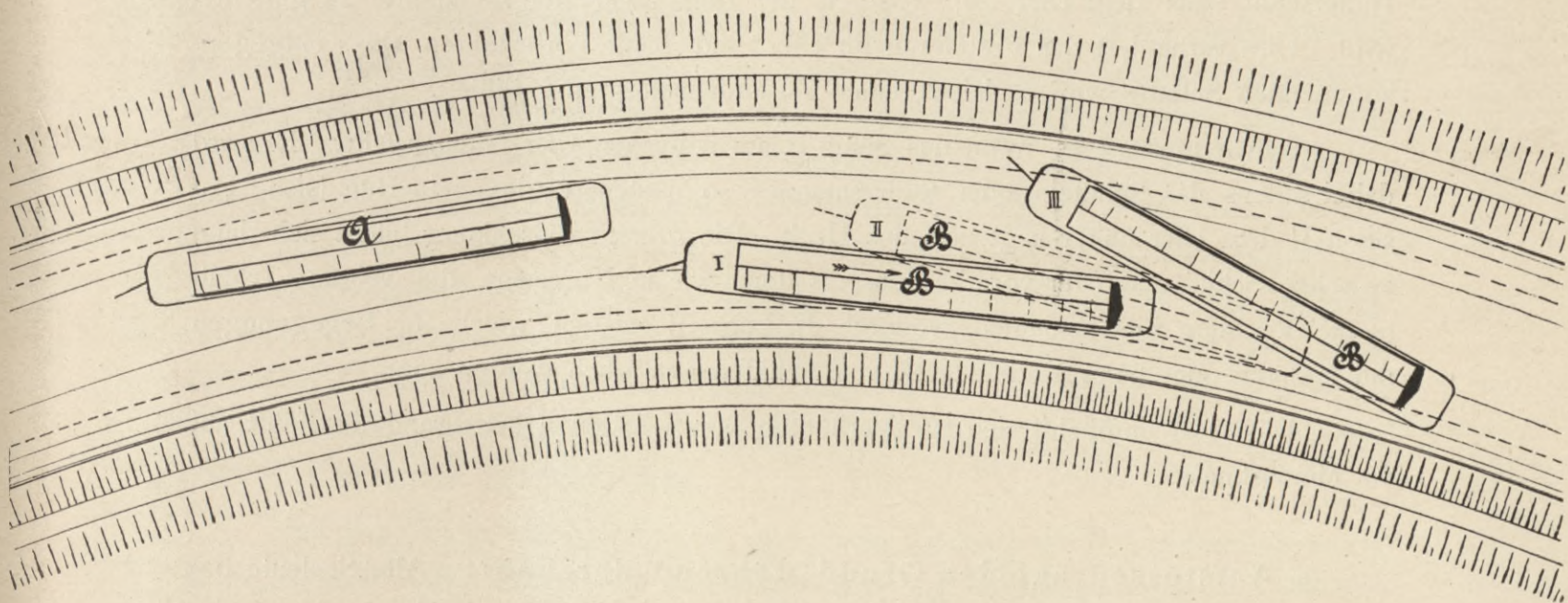


Fig. 31.

h. Durchfahren von Kurven. Die Krümmungen in Flüssen und Kanälen der europäischen Gewässer haben meistens einen so grossen Radius, dass man sie ohne Schaden durchfahren kann. Nur, wenn in ihnen starke Strömungen laufen, erfordert das Befahren grössere Aufmerksamkeit. Es ist dies jedoch noch immer unbedenklich, wenn nicht etwa in den Krümmungen Begegnungen vorkommen, wodurch die Schiffe genöthigt werden, hart am Ufer entlang zu fahren.

Die Erfahrung hat nun gelehrt, dass diejenigen Schiffe, welche an dem convexen Ufer entlang fahren, merkwürdigerweise leichter in das Ufer hineinfahren, als die das concave Ufer zu halten gezwungen sind. Letztgenannter Weg wird zwar schon am liebsten deshalb gewählt, weil die am concaven Ufer entlang laufende Strömung dort gewöhnlich die grösste Wassertiefe schafft, aber Schiffe, welche, wie in *Textfigur 31* gezeigt ist, dort fahren, haben auch noch einen besonderen durch die Einsenkung entstehenden Vortheil.



In *Fig. 31* ist die Kurve eines Kanales von dem Querschnitt des Dortmund-Ems-Kanals dargestellt, in welchem ein mit A bezeichnetes Lastschiff von der Grösse des Dortmund an der concaven Seite entlang fährt. Die Ruderlage ist S. B., Strömung ist nicht vorhanden und die Wassertiefe ist überall die gleiche.

In solchem Falle sind Schiffsführer und der Mann am Ruder, denen die Gefahr vor Augen steht, in das Ufer hineinzulaufen, immer geneigt, das Vorderschiff durch das Ruder mehr als nöthig nach der entgegengesetzten Seite hinzurichten, wodurch dessen Abstand vom Ufer grösser wird, als der des Hinterschiffes. Demgemäss werden neben letzterem die Querschnitte, durch welche der negative Strom fliessen muss, die kleinsten, die Einsenkungshöhe dort somit die grösste und ein Ueberdruck an der S. B. Seite drängt das Hinterschiff stets dem Ufer zu, wodurch der Bug mehr der Kanalmitte zu gerichtet wird. Dies verhindert das Festfahren im Ufer und beim Vorbeifahren eines entgegenkommenden Schiffes wird es leicht, einen Zusammenstoss zu verhüten.

Schwieriger ist es, wenn das Schiff B am convexen Ufer entlang fährt. Es wird dabei seitens des Schiffers oder Rudersmannes so gesteuert, dass sein Bug [siehe Position I] dem Ufer näher liegt, als das Heck. Die grösste Einsenkung bildet sich dann zwischen Schiff und Ufer vorn, so dass es dort, wie in II gezeigt, die Neigung erhält, in die Böschung hineinzulaufen, wodurch die Lage III entsteht, welche bei Begegnungen mit anderen oder beim Vorbeifahren von Schiffen gefährlich werden kann.

Auch hier empfiehlt sich zur Verhütung von Schäden Ermässigung der Fahrt auf ein Mindestmass.

i. Aufstossen auf den Grund während der Fahrt. Alte Seeleute behaupteten, das Wasser hätte in Flüssen und Kanälen etc. geringere Tragkraft, wie im Ocean, was mit Ausnahme des Unterschiedes der Dichtigkeit zwischen Fluss- und Seewasser widersinnig erscheinen muss. Dennoch haben sie recht, wenn sie damit meinen, dass in Fahrt befindliche Schiffe mitunter den Grund berühren, an Stellen, welche für gewöhnlich grössere Wassertiefe haben, als der Tiefgang des darüber fahrenden Schiffes beträgt. Es ist dies lediglich Folge der Einsenkung, welche bei dem mit derselben Geschwindigkeit fahrenden Schiffe, mit welcher es auf See fuhr, in einem Fluss durch die an seinen Wänden auf den negativen Strom wirkende Reibung, sowie durch Beschleunigung des negativen Stromes in den für dasselbe zu kleinen Querschnitten des Flussbettes bedeutend anwächst.

Wird die mittlere Einsenkungshöhe so gross, dass sie den Unterschied übersteigt, der zwischen dem Tiefgang des Schiffes und der Wassertiefe des Flusses besteht, wenn sich kein Schiff darin fortbewegt, dann muss das die Einsenkung erzeugende Schiff den Grund berühren, denn es würde ohne dies Hinderniss um die Einsenkungshöhe unter den normalen Wasserspiegel des Flusses sinken.



Natürlich verliert das den Grund berührende Schiff sofort einen Theil seiner Geschwindigkeit und steht still, wenn die fortbewegende Kraft nicht mehr ausreicht. Solcher Fälle haben die Versuche auf dem Dortmund-Ems-Kanal mehrere aufzuweisen, von denen der am 18. August mit der grössten zur Verfügung stehenden I. P. S. angestellte als einer der interessantesten, auf *Taf. 74* graphisch dargestellt ist. Der dazu verwendete Schleppzug wurde aus dem Lloydkahn und Goedhart gebildet. Ersterer hatte dabei einen Tiefgang von 2 m. Der Wasserstand im Kanal war ziemlich niedrig und betrug 4 cm unter normal. In der Zeichnung bedeutet B B die Kurve der Geschwindigkeiten, welche durch Abtragen der letzteren als Ordinaten, von der die Weglänge darstellenden geraden Linie A A als Abscissenaxe, gebildet wurde. Der Nullpunkt der letzteren ist der Anfang der Beobachtungsstrecke, welche nach links bis zu 100 m weiter gezeigt wird. 100 m vor 0 nach rechts zeigt die Geschwindigkeitskurve bei B nahezu die für die Versuchsfahrt mit der verfügbaren Maschinenkraft zu erreichende Geschwindigkeit von 1,80 m/sec. und ebendasselbst zeigt die Kurve C C des Dynamometers 2210 kg Zugkraft im Schlepptau. Der Widerstand, den das Schiff erlitt, war dort schon gross, denn später z. B. bei 30 m vor 0 wurden 1,90 m/sec. Geschwindigkeit bei nur 2125 kg Zugkraft erreicht. Diese stieg jedoch schon bei 90 m vor 0 auf 2300 kg, während die Schiffsgeschwindigkeit auf 1,69 m/sec. und bei 70 m bis auf 1,5 m/sec. sank, wobei die Zugkraft hier 2650 kg erreichte. Dann stieg die Zugkraft bei 64 m vor 0 auf 2850 kg bei steigender Geschwindigkeit und fiel darauf bei 43 m vor 0 auf 2090, während letztere auf 1,90 m/sec. stieg.

Auf dem Wege von 90 bis 43 m vor 0 muss demnach der Widerstand besonders gross geworden sein, obgleich die Geschwindigkeit sich zeitweise verringerte. Die Ursache hierfür ist nicht mehr zu ermitteln, sie muss jedoch entweder in Verkleinerung der Kanalquerschnitte, Vergrösserung der Reibung an der Sohle und den Böschungen oder, was das Wahrscheinlichste ist, in leichtem Berühren des Grundes zu suchen sein.

Nunmehr ging die Fahrt bis 30 m über 0 hinaus mit ziemlich gleicher Geschwindigkeit, von 10 m ab stieg schon die Zugkraft derartig, dass sie bei 30 m 2575 kg und bei 45 m sogar 3225 kg erreichte, während von 30 m ab die Geschwindigkeit von 1,88 m/sec. auf 0,63 sank, dann eine kurze Strecke constant blieb und darauf gleich hinter 75 m die Bewegung ganz aufhörte. Die Zugkraft fiel von der höchsten Höhe ganz schnell und hörte bei 75 m ebenfalls ganz zu wirken auf.

Fahrtgeschwindigkeit und Zugkraft des Weges von 43 m vor Beginn der Beobachtungsstrecke hatten also das für den Versuch normale Maass wieder erreicht, nachdem der erste Widerstand zwischen 90 und 50 m überwunden war. Dies dauerte jedoch nur bis auf 10 m über 0 hinaus in die Beobachtungsstrecke hinein. Hier bog das Vorderschiff etwas seitlich ab, fing an den Grund zu streifen, was die grosse Steigerung der Zugkraft veranlasste. Diese war indess mit 3225 kg nicht mehr im Stande, das



Schiff über den Grund weiter zu ziehen, es ging immer langsamer, bis es bei 75 m ganz fest sass und der Schleppdampfer seine Maschine stoppte.

Die Einsenkungshöhe war so gross geworden, dass das Schiff auf dem Grund vollständig festlag. Kurze Zeit nachher sammelte sich das Wasser neben dem in Ruhe liegenden Schiff wieder an, der Wasserspiegel stieg auf die normale Höhe und der Lloydkahn lag, vollständig flott, bewegungslos im Kanal. Die Schuld an der Fahrtunterbrechung trug lediglich die für die Wasserverhältnisse zu grosse Fahrgeschwindigkeit, und diese ist es auch, wenn auf begrenzten Wasserstrassen Schiffe den Grund berühren, wo Wassertiefe genügend vorhanden ist. Das Auflaufen ist gewöhnlich dem Schiffe nicht schädlich, wenn nicht andere in der Nähe befindliche Schiffe dadurch in Gefahr kommen, es ist aber ein gutes Warnungszeichen dafür, dass die angenommene Geschwindigkeit für die obwaltenden Umstände zu gross war, und eine dringende Mahnung zur Verlangsamung der Fahrt, damit Kollisionen mit entgegenkommenden Schiffen verhütet werden.

Läuft dem Schiffe noch ein Strom entgegen, der die negative Strömung vermehrt, so ist die Geschwindigkeit der Fahrt weiter zu ermässigen. Aus der vermehrten Strömung entsteht eine grössere Einsenkung, und die Steuerfähigkeit verliert an Zuverlässigkeit. Richtig ist, in solchem Falle die Schiffsgeschwindigkeit um diejenige des entgegenkommenden Stromes zu ermässigen, wenn erstere für die nöthige Sicherheit in ruhigem Wasser die richtige war.

k. Einfluss der negativen Strömung auf Räder und Schraube. Zu dem Slip, den Schaufelräder oder Schrauben an und für sich schon haben, gesellt sich noch der aus der negativen Strömung entstehende, und wird diese noch gar, wie in dem vorstehend beschriebenen Falle, durch eine der Richtung des Schiffes entgegenkommende Strömung in der geschilderten gesteigerten Weise vergrössert, so wird der Verlust, der sich in Verringerung der Fahrgeschwindigkeit ausdrückt, ein beträchtlicher. Er kann sich soweit steigern, dass die Fahrgeschwindigkeit gleich 0 wird, dann muss allerdings die negative Stromgeschwindigkeit allein durch den entgegenkommenden Strom erzeugt werden und so gross sein, wie die Umdrehungsgeschwindigkeit der Räder. Ist sie gar grösser, dann treibt das Schiff trotz der Bewegung der Räder zurück.

Die negative Stromgeschwindigkeit wird an und für sich am Hintersteven der Schiffe, wo die Schrauben arbeiten, nie so gross sein, wie in der Mitte der Schiffe an der Wasseroberfläche, wo die Schaufeln der Räder hauptsächlich zur Wirkung kommen. Sie wird jedoch durch den Slip der Schraube verstärkt, besonders wenn letztere einen verhältnissmässig kleinen Durchmesser hat, was bei der Fahrt in flachen Flüssen und Kanälen nicht zu vermeiden ist. Der Wirkungsgrad beider Arten von Treibapparaten kann deshalb unter solchen Umständen nicht wesentlich von einander verschieden sein.



Vorzuziehen ist die Anwendung von zwei Schrauben, weil deren seitliche Lage günstiger ist als die der einen Schraube in der Mitte, und weil sich eine grössere treibende Fläche dadurch erreichen lässt.

1. Veränderung des Trimmis während der Fahrt. Aus den Versuchsergebnissen konnte bis jetzt eine feste Regel für den Trimm der Kanalschiffe nicht hergestellt werden. Man sieht ihn am besten aus den Zeichnungen der *Tafeln 48—70*.

Die Trimmlage ändert sich in begrenztem Wasser mit Vermehrung oder Verminderung des Widerstandes. Erreicht ein Schiff mit seinem Vorderende eine Verengung des Fahrwassers, oder eine Stelle, an welcher der Pflanzenwuchs oder die Reibung am Kanalbett stärker wird, wie vorher, dann vergrössert sich dort der negative Strom, und das Vorschiff sinkt tiefer. Befinden sich die Hindernisse nur auf einer kurzen Strecke, dann erfolgt ein Einsinken des ganzen Schiffes, wenn sie von der Schiffsmittle erreicht ist, und darauf des Hinterschiffes, sobald dies die Strecke passirt.

Hieraus entstehen pendelnde Bewegungen des Schiffes, welche es abwechselnd vorn und hinten tiefer tauchen lassen. Dies gab bei den Versuchen Veranlassung zu den theilweise unrichtigen Einsenkungshöhen, welche nicht gleichzeitig aufgenommen wurden. Selbstverständlich hatten diese Veränderungen der Einsenkungshöhen vorn und hinten, die vielleicht nur 1 bis 2 cm betragen, am meisten Einfluss auf die Grösse der Einsenkung bei kleinen Geschwindigkeiten, bei denen letztere selbst nur klein waren. Die Versuchsergebnisse bestätigen dies, indem sie meistens für kleine Geschwindigkeiten am unzuverlässigsten sind.

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Verschiedenheiten in der Trimmlage der Schiffe, welche die Zeichnungen auf *Tafel 48—70* vielfach zeigen, auf dieselben Ursachen zurückzuführen sein werden, die vorstehend erläutert wurden.

## 2. In unbegrenztem Wasser.

Der Einfluss der negativen Strömung, insbesondere der durch sie entstehenden Einsenkung, ist bei den auf unbegrenztem Wasser fahrenden Schiffen ebenso gross, wie bei der Kanalschiffahrt etc. Bei schnell fahrenden Schiffen muss der negative Strom weit mehr aus der viel grösseren Geschwindigkeit hervorgehen, mit der die Schiffe auf dem Meere fortbewegt werden, als aus der Verzögerung durch Reibung, weil die rauhen Kanalwände fortfallen. An Reibung ist die an der benetzten Oberfläche der Schiffe und die der Wassertheilchen unter sich in Betracht zu ziehen, deren Bedeutung und Grösse zur Zeit noch nicht ausreichend erkannt sind. Man darf dabei die zuletzt genannte Reibungsart nicht unterschätzen, denn die Thatsache, dass Schiffe, welche mit 16,9 Seemeilen Geschwindigkeit auf Wassertiefen von 40 m, und bei derselben Kraftäusserung ihrer Maschinen, auf 60 m Wasser 0,2 Seemeilen mehr gelaufen sind, wie dies z. B. bei



S. M. S. „Wörth“\*) festgestellt wurde, beweist, dass der negative Strom in diesem Falle noch über 40 m hinaus sich um das Schiff herum verbreitet hatte. Die Geschwindigkeit muss naturgemäss da am grössten sein, wo die negative Strömung unbeeinflusst von der Reibung an den Schiffswänden ihren Weg von vorn nach hinten nehmen kann. Weiter abseits wird diese Strömung durch die Cohäsion der Wassertheilchen immer mehr verringert, bis sie endlich ganz aufhört, und von dieser vollständig überwunden ist.

Nach Professor Rankine und W. Froude soll der Schiffswiderstand zum Theil durch Wellenbildung an der Oberfläche des Wassers verursacht werden. Dieser Theorie folgend führt Sir William White\*\*) aus, dass durch zu grosse Nähe des Meeresbodens die Wellenbildung beeinträchtigt, und dadurch der Schiffswiderstand vergrössert wird.

Nach den Versuchen auf dem Dortmund-Ems-Kanal erscheint dies nicht zutreffend. Es ergiebt z. B. die Fahrt mit Goedhart allein fahrend bei 1,56 m/sec. Geschwindigkeit, (*Taf. 49 Fig. 1*), einen grössten Abfall des Wassers am Ufer von nur 0,03 m der sicher bei etwas breiterem Wasserspiegel ganz verschwunden sein würde. Dennoch beträgt die mittlere negative Stromgeschwindigkeit 0,158 m/sec., und die Einsenkung 13,2 cbm, d. i. 14,5 % vom Displacement des Schiffes.

Wäre nun die Theorie vom Wellen bildenden Widerstand richtig, dann müssten auf dem Lichtdruckbild, *Taf. 1* Reihe I andere Wellen sichtbar werden, als diejenigen, welche dort zur Erscheinung kommen. Diese können, der von Froude eingeführten Rechnungsweise entsprechend zu ihrer Bildung unmöglich eine Leistung von 0,82 Pferdestärken erfordern, welche nach Abzug der für die Ueberwindung des Reibungs-Widerstandes an der benetzten Oberfläche nöthigen 0,85 P. S. dafür übrig bleiben würden.

a. Schwieriges Steuern und Gieren der Schiffe. Noch weit bestimmter beweisen dies die Erscheinungen bei der Fortbewegung im freien Wasser, die mit denen im begrenzten Wasser übereinstimmen. So wirkt das Fahren über Gründe, deren Tiefe unter dem Wasserspiegel kleiner als der Bereich des negativen Stromes ist, genau so auf das Steuern, wie für den Kanal nachgewiesen wurde. Durch die Unebenheiten auf dem Grunde entstehen ungleiche negative Geschwindigkeiten um das Schiff herum. Die daraus folgenden ungleichen Einsenkungshöhen erzeugen Kräfte, die auf Drehung der Schiffe hinwirken. Drehkräfte entstehen nicht, wenn die Einsenkungshöhen auf beiden Seiten der Mittelebene des Schiffes symmetrisch vertheilt sind. Es erfordert viel Aufmerksamkeit und Geschicklichkeit, jenen Kräften mit Hülfe des Ruders mit Erfolg entgegen zu arbeiten.

\*) Handbuch der Seemannschaft, bearbeitet von Dick und Kretschmer, II. Theil, Seite 478.

\*\*) White, Manual of Naval Architecture 1894. Seite 466.



Das Gieren der Schiffe, welches sich besonders stark äussert, wenn sie vor dem Winde, nahezu in der Richtung fahren, in der sich die Wellen bewegen, ist ebenfalls eine Folge der Einsenkung. Das hiermit stets verbundene mehr oder weniger starke Schlingern der Schiffe, bei welchem abwechselnd eine Seite nach der andern tiefer eintaucht, erzeugt jedesmal an der tieferliegenden Seite vermehrte negative Geschwindigkeit und grössere Einsenkungshöhe. Der alsdann an der gegenüberliegenden Schiffsseite entstehende Ueberdruck drängt, besonders wenn er am Vorder- oder Hinterende entstanden ist, nach der entgegengesetzten Seite und wirkt auf Drehen des Schiffs. Durch die dabei aufgenommene lebendige Kraft wird das Schiff weiter gedreht, wenn auch inzwischen schon die Schlingerbewegung nach der anderen Seite begonnen hat. Letztere kann das Drehmoment des Schiffes ganz oder zum Theil aufheben, sie kann aber auch noch zu seiner Vergrösserung beitragen, je nachdem das Schiff auf den Wellen liegt.

b. Entstehung der Derivation. Bei jeder Drehung eines Schiffes müssen an den äussersten Enden ungleiche negative Geschwindigkeiten entstehen, durch deren ungleiche Einsenkungshöhen ähnliche Druckunterschiede gebildet werden, wie sie bereits beschrieben wurden. Diese müssen beim Steuern entweder hindernd oder fördernd wirken, je nach den dabei obwaltenden andern Umständen. Sie bilden aber eine ständige Beihülfe für die Ruder beim Drehen der Schiffe im Kreise, am meisten dort, wo das Hinterschiff völliger wie das Vorderschiff ist, wie jetzt meistens der Fall. Dreht ein solches Schiff sich mit B. B. Ruder im Kreise, dann entsteht die grösste negative Geschwindigkeit an S. B. hinten, es wird also durch den Ueberdruck an der B. B. Seite nach S. B. gedrängt, so lange, bis die Strömungen an beiden Seiten gleich geworden sind. Dann tritt Gleichgewicht ein und das Schiff hat den Derivationswinkel mit der Tangente des Drehkreises angenommen, der sich aus der Ruder- und Einsenkungswirkung ergibt. Die dadurch vom Schiff in Bezug auf den zu laufenden Kreis angenommene Lage mit dem Bug innerhalb der Kreislinie, trägt sicher zur Verringerung ihres Durchmessers bei.

c. Krängung der Schiffe beim Drehen. Ferner hat die Einsenkung Einfluss auf die Krängung der Schiffe beim Drehen im Kreise, sowie beim Drehen überhaupt. Der Unterschied der mittleren Einsenkungshöhen beider Seiten vermehrt oder vermindert, je nachdem die grösste dieser Höhen sich an der äusseren oder inneren Schiffsseite bildet, den Einfluss der verschiedenen auf Krängung wirkenden Kräfte, wenn diese in gleichem oder entgegengesetztem Sinne wirken. Möglich ist, dass der Unterschied der Einsenkungshöhen so bedeutend wird, dass lediglich dieser die Krängung des Schiffes bedingt.



d. Abtrift der Schiffe. Wichtig ist noch die Wirkung der Einsenkung auf die Abtrift bei Segelschiffen, besonders wenn sie, beim Winde segelnd, stark nach der Leeseite übergeneigt liegen. Es ist dann nicht allein der Druck des Windes von der Luvseite aus, welcher die Abtrift veranlasst, sondern auch der Unterschied des in Lee eingetauchten und des an der Luvseite aus dem Wasser aufgetauchten Theils des Displacements. Die Leeseite des Schiffs hat eine grössere Völligkeit und deshalb ist an dieser Seite die negative Strömung und die Einsenkungshöhe grösser, als an der andern Seite.

In dem Vorgesagten liegt schon eine Andeutung, nach welcher Richtung hin Aenderungen in der Konstruktion von Segelfahrzeugen vorzunehmen sind, um der Abtrift entgegenzuwirken, wo die Erfahrung dies nicht schon gelehrt hat.

Hieran anschliessend möge noch darauf hingewiesen werden, dass die Einsenkung auch die Luvgerichtigkeit beeinflusst und ihr Verständniss zu einem besserem Erkennen der Mittel beitragen kann, durch welche sie sich am günstigsten gestalten lässt.

Ferner lassen sich aus der Einsenkung die Drehungen der Schiffe beim Rückwärtsgang mit rechts- oder linksgängigen Schrauben erklären, auch diese sind lediglich als Folgen der am Hinterschiff durch die Schraubenumdrehungen entstehenden verschiedenen Einsenkungs- oder Druckhöhen anzusehen. Die Neigung zur Abweichung vom Kurs beim Vorwärtsgang der Schiffe mit einer Schraube und Mittschiffsruder entsteht aus gleichen Ursachen.

Es dürfte kaum eine Erscheinung bei der Fortbewegung nicht vollständig eingetauchter Körper geben, die nicht zum Theil von der Einsenkung beeinflusst wird. Die Schlingerbewegungen, das Stampfen und Setzen der Schiffe sind mehr oder weniger darauf zurück zu führen.

Im Vorgesagten liegt ein indirecter Beweis für das Vorkommen der Einsenkung überall dort, wo sich im Wasser ungleiche Geschwindigkeiten zeigen, sie mögen erzeugt sein, wie sie wollen.

### C. Vertheilung der indicirten Pferdestärken.

Die effectiven Pferdestärken, welche sich aus den Producten, der vom Dynamometer angegebenen Zugkräfte mit den zugehörigen Schiffsgeschwindigkeiten, dividirt durch 75 ergeben, bilden nur einen Theil der von der Dampfmaschine entwickelten indicirten Pferdestärken. Der Rest vertheilt sich auf die Ueberwindung des Widerstandes des Schleppdampfers, der Reibungswiderstände in der Maschine, der Kraft zur Bewegung der Luft-, Speise- und Lenzpumpen, der Reibung des Wassers an den Schraubenflügeln und des Verlustes durch den Slip der Schraube.



In dem hierfür zu setzenden algebraischen Ausdruck

$$N_i = N + \alpha N + \beta N + \gamma N + \delta N + x$$

bedeuten  $N_i$  die indicirten }  
 $N$  die effektiven } Pferdestärken

und die übrigen Glieder die vorgenannten Widerstände. Alsdann ist der Verlust durch den Slip der Schraube

$$x = N_i - N (1 + \alpha + \beta + \gamma + \delta).$$

Zur Ermittlung aller dieser Widerstände, die je nach der Konstruktion der genannten Theile verschieden sind, boten die Versuche keine Gelegenheit. Hier genügt jedoch eine annähernde Ermittlung der Kraftverluste, und es sollen für diesen Zweck die Angaben von Froude\*) verwendet werden, der die Leistung des reinen Schiffswiderstandes mit  $N$ . bezeichnet. Es ist dann, wenn  $W$  der Widerstand in kg,  $G$  die Schiffsgeschwindigkeit in m/sec.,

$$N = \frac{W \cdot G}{75}$$

Für die Fahrten von geschleppten Schiffen muss der Widerstand des Schleppdampfers zu dem des geschleppten Schiffes hinzugerechnet werden, demnach ist hierfür, wenn letztgenannter Widerstand  $W_s$  genannt wird,

$$N = \frac{(W + W_s) \cdot G}{75}$$

Froude setzt ferner:

$\alpha$ , die Reibung der Schraubenfläche im Wasser = . . . . .	0,1 N
$\beta$ , die konstante Reibung der todten Gewichte der Maschine bei Leergang, in Schiffspferdestärken = . . . . .	0,143 $N_s$
$\gamma$ , die Reibung der Maschine beim Arbeitsgang = . . . . .	0,143 $N_s$
$\delta$ , die Widerstände der Luft- und Speisepumpen = . . . . .	0,075 $N_s$
	0,361 $N_s$

Froude setzt nun

$$N_s = 1,5 N + 0,361 N_s$$

$$N_s = 2,347 N$$

und daraus folgt:

$$0,361 N_s = 0,847 N.$$

Ausser den zur Ueberwindung dieser Widerstände erforderlichen Maschinenleistungen müssten nach Froude noch zwei andere in Rechnung gestellt werden, nämlich der von der guten und schlechten Anordnung der Schraube am Hinterschiff abhängige, durch die Schraubenumdrehung hervorgerufene Widerstand, der sich auf 0,4 bis 0,5 N belaufen, mithin die Hälfte der ganzen effektiven Pferdestärken betragen soll, und ferner

---

\*) Siehe Hütte, fünfzehnte Auflage, Abtheilung II Seite 408.



der Verlust durch den Slip der Schraube, der mit  $0,1 N_s$  angesetzt wurde. Dieser Slipverlust ist für die Fahrt von Schiffen auf unbegrenztem Wasser ermittelt und muss für den Kanal viel grösser sein. Sein Werth soll hier so genau wie möglich festgestellt werden.

Ein von der Schraubenumdrehung herrührender Widerstand besteht nicht, wie sich durch Vergleich der I. P. S. feststellen liess, die bei Dortmund alleinfahrend und Emden von Goedhart geschleppt gemessen wurden. Emden und Dortmund sind in Form und Grösse vollkommen übereinstimmend. Die unwesentlichen Unterschiede lassen auf das Vorhandensein eines derartigen Widerstandes bei Dortmund nicht schliessen. Sollte er dennoch vorkommen, dann kann er nur klein sein und in den für den Slip sich ergebenden Werthen eingeschlossen werden, ohne dass diese zu Vergleichen, für die sie allein bestimmt sind, weniger brauchbar werden.

Von den für Maschinenreibung u. s. w. gegebenen Verhältnisszahlen darf angenommen werden, dass sie aus Versuchen direkt hervorgegangen sind.

Nach Einsetzung der gefundenen Werthe in die obige Gleichung für  $x$  findet man den Verlust durch das Slipwasser der Schraube

$$x = N_i - N (1 + 0,1 + 0,847)$$

$$x = N_i - 1,947 N.$$

In dieser Weise wurden die Einzelwerthe für die Schrauben- und Maschinenreibungen sowie des Slip errechnet und in Kurven zusammengestellt, welche auf *Tafel 75 Fig. 1—15* dargestellt sind. Die Figuren enthalten die Namen der Schiffe, die Bezeichnung der Schleppzüge und die Angaben der Tiefgänge. Die *Figuren 1—5* für Dortmund alleinfahrend und Goedhart alleinfahrend bestehen aus 4 Kurven. Die Ordinaten der mit Ind. P. S. bezeichneten Kurven der indicirten Pferdestärken entsprechen den als Abscissen aufgetragenen Schiffsgeschwindigkeiten. Von diesen Kurven ab sind nach unten die Pferdestärken abgetragen, welche zur Ueberwindung des Eigenwiderstandes des Schiffs durch Rechnung gefunden wurden. Durch die Endpunkte wurden die zweiten Kurven gezogen. Von diesen Kurven der Eigenwiderstände wurden die dritten Kurven für Schraubenreibung und von diesen die vierten für Maschinenreibung in gleicher Weise aufgetragen. Die Ordinaten der letzten Kurven stellen demnach den Aufwand an Pferdestärken dar, welchen der Slip verursacht.

Ebenso sind die *Figuren 6—15* entstanden, in denen noch die Kurve der Pferdestärken für den Eigenwiderstand des Schleppdampfers Goedhart eingefügt und die Ordinaten für den Eigenwiderstand der geschleppten Schiffe nicht wie oben durch Rechnung ermittelt, sondern als diejenigen Zugleistungen aufgetragen wurden, die sich unmittelbar aus den Angaben des Dynamometers und der zugehörigen Geschwindigkeit ergeben.

Aus diesen Kurven lassen sich die Pferdestärken, welche für die einzelnen Leistungen erforderlich sind, annähernd ermitteln. Ihre Summe ist die Gesamtleistung der Maschine, welche durch den Indikator ermittelt wurde.



Die Zugkräfte und I. P. S. wurden schon in Abschnitt IV, A in Vergleich gestellt. Die Kurven auf *Tafel 75* lassen erkennen, dass die Schraubenreibung und der Eigenwiderstand des Goedhart beim Schleppen nur gering sind. Bedeutender ist die Maschinenreibung. Der grösste Kraftverbrauch entfällt jedoch auf den Slip.

Die nachstehende aus den Kurven entnommene Zusammenstellung macht an einigen besonders charakteristischen Fällen ersichtlich, welcher Theil der ganzen Maschinenkraft durch den Slip in Anspruch genommen wird.

Lfd. No.	Schiffe und Schleppzüge	Taf. 75 Fig. No.	Schiffs-		Pferdestärken		
			Tiefgang m	Geschw. m/sec.	im Ganzen I. P. S.	für den Slip P. S.	%
		1	2	3	4	5	6
1	Goedhart alleinfahrend . . . . .	5	1,08/1,88	2,20	18	8	44
2	Dortmund " . . . . .	1	1,50	1,50	46	18	39
3	" " . . . . .	2	1,75	1,40	62	31	50
4	" " . . . . .	3	2,00	1,11	43	26	61
5	" " . . . . .	4	2,25	0,90	35	20	57
6	Emden von Goedhart geschleppt . . .	6	1,50	1,50	48	19	40
7	" " " " . . . . .	7	1,75	1,40	56	23	41
8	" " " " . . . . .	8	2,00	1,11	41	20	49
9	" " " " . . . . .	9	2,25	0,90	35	19	54
10	Lloydkahn von Goedhart geschleppt . .	10	1,75	1,40	32	13	41
11	" " " " . . . . .	11	2,00	1,11	25	14	56
12	" " " " . . . . .	12	2,25	0,90	24	12	50
13	Emden u. Dortmund v. Goedhart geschleppt	13	1,75	1,40	121	65	54
14	" " " " " " . . . . .	14	2,00	1,11	100	54	54
15	" " " " " " . . . . .	15	2,25	0,70	52	34	65

Nach *Tafel 75 Fig. 5* beträgt der Eigenwiderstand  $N$  des Goedhart, wenn er mit 2,2 m/sec. Geschwindigkeit im Kanal allein fährt, 5,33 P. S., mithin ist

$$N_s = 2,347 N = 12,4 \text{ P. S.}$$

Der Slip würde also für Goedhart im freien Wasser alleinfahrend

$$0,1 N_s = 12,4 \cdot 0,1 = 1,24 \text{ P. S.}$$

betragen. Der Unterschied gegenüber dem in der Tabelle für den Slip im Kanal angegebenen Werth ist demnach

$$8 - 1,24 = 6,76 \text{ P. S.}$$

oder 84,5 %.

Bei Dortmund alleinfahrend würde der Slip im freien Wasser sicher an Kraft mehr als 0,1  $N_s$  erfordern, weil die Schraube im Verhältniss zum Schiff sehr klein ist. Man sieht in Spalte 6 für die laufenden Nummern 2—4, wie der Slip bei zunehmendem Tiefgang verhältnissmässig mehr Kraft beansprucht.



Dasselbe zeigen die Zahlen in Spalte 6 für Emden und für Lloydkahn von Goedhart geschleppt. Am grössten wird natürlich der Prozentsatz in den Zeilen 13, 14 und 15 für Emden und Dortmund von Goedhart geschleppt.

#### D. Ueber die Beantwortung der Fragen.

##### 1. Geschwindigkeiten und Tiefgänge.

Das Gutachten, in welchem die von dem Herrn Minister der öffentlichen Arbeiten an die Kommission gerichteten Fragen (S. 1 und 4) von dieser beantwortet wurden, enthielt im Anfang eine allgemeine Schilderung der Versuche, und deren Ergebnisse, soweit sie damals durchgearbeitet waren. Von Anfang an war angenommen, dass der Kanal von einem aus Schleppdampfer und zwei Lastkähnen bestehenden Schleppzug, wie in der Einleitung und auf Seite 5 beschrieben, mit einer grössten Geschwindigkeit von 5 km/std. d. i. 1,4 m/sec. befahren werden dürfe.

Die Versuche ergaben auch, dass sich ein solcher Schleppzug mit der angenommenen Geschwindigkeit durch den Dampfer Goedhart bei Entwicklung von 121 I. P. S. fortbewegen liess. Ein Versuch, die Geschwindigkeit zu vergrössern, brachte es auf 1,489 m/sec. bei 161 I. P. S. Diese Vergrösserung um  $1,489 - 1,4 = 89$  mm/sec. erforderte also eine grössere Kraftaufwendung von 40 I. P. S. Dabei war die Steuerfähigkeit der Schiffe nicht mehr genügend, sie konnten, besonders Dortmund als letztes in der Reihe, nur mit der äussersten Anstrengung noch einigermaßen in der Mitte des Fahrwassers gehalten werden, und die Gefahr, auf die Böschungen des Kanales zu laufen, war gross. Ein derartiger Schleppzug darf also im Interesse der eigenen Sicherheit eine grössere Geschwindigkeit als 1,4 m/sec. nicht annehmen.

Ein Maass zu Vergleichen zwischen den die Aushöhlung der Kanalsohle bewirkenden Strömungen findet man in der Arbeit, welche die Schraube zu verrichten hat, indem sie den Theil des Wassers nach hinten treibt, welcher infolge des Slips der Schraube dorthin ausweichen muss.

Es bedeuten:

F die Schraubenkreisfläche in qm,

S die Steigung der Schraube in m,

u deren Umdrehungen in der Sekunde und

s den Slip der Schraube in Prozenten ihrer axiellen Geschwindigkeit,

dann wird die Wassermenge, welche innerhalb einer Sekunde von der Schraube nach hinten geworfen wird, und die auf den Profilzeichnungen (*Tafel 74*) dargestellten Aushöhlungen der Kanalsohle verursacht, bestimmt durch

$$F \cdot S \cdot u \frac{s}{100}$$



Dieser Ausdruck multiplicirt mit der Wassergeschwindigkeit  $S \cdot u$  ergibt die Arbeitsleistung des Slipwassers.

$$A = \frac{F \cdot S^2 \cdot u^2 \cdot s}{100}$$

Danach ist, wenn man die Werthe aus dem Versuch Emden und Dortmund von Goedhart bei 1,75 m Tiefgang und mit 1,489 m/sec. Geschwindigkeit geschleppt

$$F = 2,061 \text{ qm}$$

$$S = 1,96 \text{ m}$$

$$u = 2,66$$

$$s = 71,5 \%$$

einsetzt,

$$A = 40,05 \text{ cbm/sec.}$$

In derselben Weise berechnet erhält man für denselben Schleppzug bei 1,75 m Tiefgang und 1,4 m/sec. Geschwindigkeit:

$$A = 32,80 \text{ cbm/sec.}$$

Es werden im ersten Falle 7,681 cbm Wasser mit 5,214 m sec. Geschwindigkeit von der Schraube nach hinten geworfen, während im zweiten nur 6,915 cbm mit 4,743 m/sec. Geschwindigkeit bewegt werden.

Nach der Kurve *Taf. 75 Fig. 13* beträgt der hierzu nöthige Theil der gesammten indicirten Pferdestärken für 1,489 m/sec. 85 P. S., während für 1,4 m/sec. nur 67 P. S., also 18 P. S. oder ca. 27 % weniger Pferdestärken nothwendig sind. Ein Wasserstrom von 2,061 qm durch 67 P. S. mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 4,743 m/sec., während jeder Vorüberfahrt eines Schleppzuges in der Nähe der Kanalsohle fortbewegt, erscheint in seiner Wirkung auf das Material des Kanalbetts so gross, dass für einen Schleppzug der hier in Rede stehenden Zusammensetzung eine grössere Geschwindigkeit, als 1,4 m/sec. d. i. 5 km/std. auf dem Dortmund-Ems-Kanal nicht zugelassen werden sollte.

Hiermit war die erste Frage beantwortet und zugleich die Sliparbeit (32,8 cbm-m/sec.) gefunden, die bei allen mittels Schraube fortbewegten Schiffen nicht überschritten werden sollte.

In den Tabellen Seite 98 sind für andere dort näher aufgeführte Tiefgänge und Geschwindigkeiten die berechneten Arbeitsleistungen des Slipwassers in Spalte 15 angegeben. Diese Arbeit steht in einem bestimmten Verhältniss zur Nutzleistung des Schiffszuges, die sich ausdrückt durch das Produkt der zugehörigen Schiffsladung und der Geschwindigkeit (Spalte 8 u. 2 der Tabellen).

Zu einer Vergleichung dieser Sliparbeit bedarf es der Umrechnung derselben auf die als Grundzahl angenommene Sliparbeit, die nicht überschritten werden sollte, nach Maassgabe der Nutzleistung des Schiffszuges.



Tiefgang	Geschwindigkeit		Mittlere Zugkraft im Schlepptau	Wirkliche Zugleistung	Indicirte Maschinenleistung	Displacement	Ladung	Displacement	Ladung	Steuerfähigkeit	Grösste Stromgeschwindigkeit am Ufer		Slip	Slip — Arbeit der Schraube	
	m/sec	km/std									—	+		für die einzelnen Schleppzüge	umgerechnet auf 1360 t Ladung und 1,40 m/sec Geschwindigkeit
m	m/sec	km/std	kg	E. P. S.	I. P. S.	t	t	I. P. S.	I. P. S.		m/sec	m/sec	%	cbm . m/sec	cbm . m/sec
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Emden und Dortmund von Goedhart geschleppt.</b>															
1,75	1,40	5,040	1515	28,28	121	1720,6	1352	14,22	11,24	genügend	E. 0,44	0,07	71,0	32,8	32,8
											D. 0,47	0,12			
2,00	1,16	4,176	1400	21,65	121	1978,6	1610	16,35	13,37	genügend	E. 0,51	0,13	74,8	33,3	33,7
											D. 0,45	0,14			
2,00	1,25	4,500	1760	29,33	159	1978,6	1610	12,44	10,18	ungenügend	E. 0,58	0,15	75,2	39,2	37,1
											D. 0,48	0,16			
2,00	1,11	4,000	1250	18,50	108	1978,6	1610	18,32	14,98	gut	E. 0,40	0,10	74,6	29,0	30,7
											D. 0,40	0,11			
<b>Dortmund allein fahrend.</b>															
1,75	1,40	5,040	820	15,31	62	815,0	652	13,15	10,56	gut	0,51	0,38	64,9	13,1	27,1
2,00	1,233	4,439	870	14,30	62	944,0	780	15,23	12,65	genügend	0,49	0,50	70,3	14,2	28,0
2,00	1,25	4,500	900	15,00	65	944,0	780	14,52	12,06	genügend	0,50	0,54	70,4	14,9	28,9
2,00	1,11	4,000	660	9,77	43	944,0	780	21,95	18,23	gut	0,48	0,24	69,5	11,2	24,4
<b>Lloydkahn von Goedhart geschleppt.</b>															
1,75	1,40	5,040	455	8,49	31	668,6	367	21,57	11,84	gut	0,57	0,14	56,0	12,2	45,2
2,00	1,235	4,446	515	8,48	31	762,6	461	24,60	14,87	genügend	0,44	0,19	62,4	14,0	46,8
2,00	1,25	4,500	530	8,83	32	762,6	461	23,83	14,41	genügend	0,46	0,21	62,5	14,3	47,2
2,00	1,11	4,000	415	6,14	24	762,6	461	31,78	19,21	gut	0,40	0,14	62,2	11,1	41,3
<b>Emden von Goedhart geschleppt.</b>															
1,75	1,40	5,040	820	15,31	56	905,6	676	16,17	12,14	gut	0,52	0,24	62,6	17,6	35,2
2,00	1,245	4,480	885	14,69	56	1034,6	805	18,48	14,45	genügend	0,62	0,26	66,1	18,9	35,7
2,00	1,25	4,500	900	15,00	57	1034,6	805	18,15	14,19	genügend	0,63	0,26	66,1	18,9	35,7
2,00	1,11	4,000	660	9,77	40	1034,6	805	25,87	20,23	gut	0,43	0,17	65,0	13,5	28,6



Beispielsweise beträgt

	die Nutzleistung	die Slipeistung
in Zeile 1	$1352 \cdot 1,4 = 1893$	32,8
„ „ 2	$1610 \cdot 1,16 = 1868$	33,3
die reducirte Slipeistung also	$\frac{1893}{1868} \cdot 33,3 = 33,7$	

Die Zahlen in Spalte 16, welche mit der Grundzahl 32,8 beginnt, sind sämmtlich wie vorstehend beschrieben errechnet. Sie ergeben, dass für Goedhart schleppt Emden und Dortmund bei 2 m Tiefgang nur die Geschwindigkeit von 1,11 m/sec. zulässig ist. Für Dortmund alleinfahrend würde sowohl bei 1,75 m Tiefgang die Geschwindigkeit von 1,4 m/sec. als auch bei 2 m Tiefgang die höchste dafür angenommene Geschwindigkeit von 1,25 noch zulässig sein.

Ungünstiger stellen sich die Fälle beim Lloydkahn von Goedhart geschleppt, die mit keiner der 4 Voraussetzungen, für welche sie ausgerechnet sind, zulässig sein würden. Hiermit würde auch die zweite Frage beantwortet sein. Es dürfte nicht rathsam sein, für die grossen Lastschiffe verschiedene Geschwindigkeiten gleichzeitig zuzulassen, weil ein Ueberholtwerden der vorauffahrenden Schiffe nothwendig eine Mässigung ihrer Geschwindigkeit voraussetzt, und, sofern dieser Fall häufig vorkommt, die rationelle Ausnutzung der Wasserstrasse beeinträchtigt wird.

Die vorstehenden Ausführungen lassen darüber keinen Zweifel, dass die Fortbewegung so grosser Schiffe, wie Emden und Dortmund, mittels der Schraube, sei es am Schiffe selbst oder an einem Schleppdampfer, für den Kanal nicht günstig ist. Die Aushöhlung der Kanalsohle, wie sie sich während der Versuche ergeben hat, kann dem Kanal gefährlich werden, und dies umsomehr, wenn die Kraft, mit welcher das Wasser von der Schraube zurückgeworfen wird, eine verhältnissmässig grosse ist.

Andererseits sind die Bestrebungen, für die Fortbewegung von Schiffen in Kanälen die Zugkraft vom Leinpfad aus wirken zu lassen, zu empfehlen, wenn sie in ökonomischer Beziehung den durch Schrauben bewegten gegenüber nicht wesentlich ungünstiger sind, was durch die bisherigen Erfahrungen noch nicht nachgewiesen ist.

## 2. Versuche bei Hanekenfähr.

Der Dortmund-Ems-Kanal mündet unterhalb der Sparschleuse bei Gleesen in die Ems. Von hier ab bis zur Abmündung des Haneken-Kanals dient der Emsfluss als Schiffahrtsweg auf eine Länge von etwa 4 Km. In diesem Theile der Ems kann zu Zeiten höherer Wasserstände eine stärkere Strömung eintreten, die bis zu 1 m/sec. betragen soll. Etwa 230 m oberhalb der Einfahrt in den Vorhafen der Sperrschleuse am Haneken liegt eine Eisenbahn-Brücke mit 5 Oeffnungen, die von den Schiffen durchfahren werden muss, und etwa 300 m unterhalb liegt ein Ueberfallwehr in der Ems.



Es war die Frage, ob aus der in 2 Plänen auf *Tafel 73* dargestellten örtlichen Lage für die Fahrt von Schleppzügen Schwierigkeiten entstehen könnten.

Zur Einleitung von Versuchsfahrten wurden die Schiffe Emden, Goedhart und Dortmund in die Ems hinaufgebracht und oberhalb der Eisenbahnbrücke gedreht. Die Brückenjoche und das Fahrwasser wurden aufgepeilt.

Eine photographische Camera wurde auf dem Süden der Eisenbahnbrücke bei A, eine zweite auf dem Schnittpunkt des westlichen Ufers des Vorhafens der Schleuse mit dem rechten Emsufer bei B und eine dritte an dem Schuppen bei C aufgestellt. Zuerst fuhr Goedhart mit Dortmund im Schlepptau, dessen Länge von Schiff zu Schiff 30 m betrug, durch das Mitteljoch der Eisenbahnbrücke, nachdem beide Schiffe diese Richtung vorher gut aufgenommen hatten.

Gleich nachdem die Brücke von dem Schleppzug verlassen war, wurde die Richtung scharf auf die östliche Ecke der Einfahrt in den Vorhafen genommen, dann dicht am Ufer neben dem Park hingesteuert und demnächst nahe am östlichen Ufer entlang in den Hafen hineingefahren. Um nach vollendeter Einfahrt die Geschwindigkeit des Dortmund zu hemmen, legte sich Goedhart an seiner Seite fest und stoppte das Schiff durch Rückwärtsgehn so schnell auf, dass es sich weit von dem Schleusenthor entfernt festmachen konnte.

Während der Einfahrt wurde zunächst die Position 1 der beiden Schiffe von der Camera bei A, dann 2 von B und 3 von C aus aufgenommen. Nach diesen Aufnahmen, die auf *Taf. 47 Fig. 6 bis 12* wiedergegeben sind, wurde der Plan *Taf. 73* ausgeführt, welcher deutlich zeigt, dass unter den obwaltenden Umständen eine solche Fahrt nicht die geringste Schwierigkeit bietet.

Nachdem die beiden Schiffe durch die Eisenbahnbrücke nach der oberen Ems zurückgeführt und dort Emden als erstes Schiff hinter Goedhart in 30 m Abstand und demnächst Dortmund hinter Emden in 20 m Abstand aufgenommen waren, fuhr Goedhart mit voller Maschinenkraft durch das vom Mitteljoch südlich gelegene Brückenjoch. Beide Schiffe folgten dem Schleppdampfer gut, und der Zug ging tadellos durch das Joch. Goedhart führte dasselbe Manöver aus wie bei der ersten Fahrt. Die Einfahrt in den Vorhafen gelang ebenso wie das erste Mal, wie im Plan auf *Taf. 73* dargestellt ist.

Als Dortmund mit seinem Vorderende die Hafenumündung erreicht hatte, warf er sein Schlepptau, das ihn mit Emden verband, los, und steuerte, von der lebendigen Kraft fortbewegt, allein in den Hafen hinein, wo er an den Pfählen der Westseite festmachte, während Goedhart mit Emden das Ostufer langsam entlang fuhr und beide an den dort befindlichen Pfählen sich abstoppten und festlegten.

Die Stromgeschwindigkeit war nur gering, sie betrug, mit einem Woltmann'schen Flügel gemessen, in der Mitte des Flusses 0,15 m/sec. Man sieht jedoch aus den Photographieen und Plänen, dass die Strömung sehr stark sein muss, wenn sie einen Schleppzug während der kurzen Zeit der Einfahrt in den Vorhafen soweit stromabwärts



treiben soll, dass das letzte Schiff Gefahr läuft, gegen den Kopf des westlichen Ufers geworfen zu werden. Unter aussergewöhnlich ungünstigen Umständen könnte immer noch eines der Schiffe oberhalb der Eisenbahnbrücke festgelegt, und nach Beendigung der ersten Fahrt nachgeholt werden. Sicherlich kann die Strömung bei schiffbaren Wasserständen überhaupt nicht so stark werden, dass die Fahrt mit einem Schiff im Anhang bei richtigem Manövriren nicht gelingen sollte.

Sollten sich bei stärkerem Oberwasser die Strömungsverhältnisse schwieriger gestalten, als sich hier voraussehen lässt, so muss die Erfahrung lehren, ob es angezeigt ist, zeitweise einen stärkeren Schleppdampfer von etwa 300 I. P. S. einzustellen, der die Schleppzüge von den kleineren Dampfern aufnehmen könnte.

Für des Weges nicht kundige Schiffsführer ist zu bemerken, dass ein Schiffszug von mehr als 2 Schiffen, wegen der vortretenden Krümmung des nördlichen Ufers oberhalb der Eisenbahnbrücke, behindert ist, die Richtung durch das Mitteljoch aufzunehmen bevor der Schleppdampfer die Brücke erreicht und deshalb durch das südlich daneben liegende Joch fahren muss und, sobald dieses Joch durchfahren ist, die Einfahrt scharf ansteuern muss. Sollte einmal die Einfahrt nicht gelingen, so müsste am Hinterende des letzten Schiffes ein Anker in Bereitschaft sein, um Schaden zu verhüten. Wenn es sonst auch verboten ist, Anker im Kanal zu benutzen, so dürfte es hier im Emsbett doch unbedenklich, vielmehr zu empfehlen sein, in Nothfällen den Anker fallen zu lassen.

### 3. Begegnungsversuche mit Schleppzügen.

Für die Begegnungsversuche kam es zunächst darauf an, das Verhalten der grossen Schiffe im Allgemeinen kennen zu lernen, wenn man mit ihnen nahe am Ufer entlang fährt, insbesondere welche Geschwindigkeit man dabei anwenden darf, ohne dass die Ruderwirkung unzuverlässig wird. Deshalb fuhr ein Schleppzug aus Emden und Dortmund bestehend mit verschiedenen Geschwindigkeiten durch gerade Strecken und Kurven von verschiedener Krümmung, wobei sich ergab, dass man sowohl mit diesem Schleppzug wie mit Dortmund allein, ganz nahe am Ufer entlang fahren konnte und beide Schiffe noch gut steuerten, wenn ihre Geschwindigkeit 0,70 bis 0,75 m/sec. nicht überstieg.

Bei der ersten Begegnungsfahrt schleppte Goedhart den Lloydkahn und Dortmund den Emden. Das erste Schiff hatte 1,80 m, das zweite 2,0 m, das dritte und vierte 1,50 m Tiefgang. Es wurde die gradlinige Versuchsstrecke zwischen Lingen und Altenlingen abgefahren, und die Schleppzüge soweit von einander entfernt, dass sie sich vollständig aus Sicht waren. Auf ein Signal mit der Dampfpeife begannen sie einander entgegen zu fahren, wobei sie ihre Geschwindigkeit auf 1,0 bis 1,25 m/sec. brachten. Als sie etwa auf 2 bis 3 Schiffslängen sich genähert hatten, wurde die Geschwindigkeit beider Schleppzüge bis auf 0,5 bis 0,6 m/sec. ermässigt und jeder steuerte, nach rechts



ausweichend, so nahe an das Ufer wie möglich. Die Schleppzüge fuhren in ungefähr 4 m Abstand von einander, wobei die für den Fall eines Zusammenstosses bereit gehaltenen Korkfender nicht zur Anwendung kamen.

Die zweite Fahrt in der Kurve bei Holthausen, welche unter Beobachtung derselben Massregeln ausgeführt wurde, lieferte dasselbe Ergebniss. Die Schiffe gehorchten bei geringen Geschwindigkeiten dem Ruder vollständig, und während der Vorbeifahrt blieben sie soweit von einander entfernt, dass ein Zusammenstoss nicht zu befürchten war.

Die dritte Fahrt, bei welcher die drei Lastschiffe gleichmässig auf 1,75 m Tiefgang beladen waren, verlief in derselben Weise. Man kann demnach mit Sicherheit annehmen, dass Begegnungen auf dem Kanal bei Anwendung mässiger Geschwindigkeit von nicht über 0,60 m/sec. und bei aller Vorsicht seitens der Schiffsführer ohne Gefahr ausführbar sind. Bei einer Vermehrung der relativen Geschwindigkeit der beiden Schleppzüge über 1,20 m/sec. ist zu besorgen, dass einer oder beide Züge an die Ufer herangedrückt werden, dadurch die Steuerfähigkeit verlieren und ihren Weg unaufhaltsam nach der entgegengesetzten Seite nehmen.



## VI.

## Vorschläge für den Bau von Kanalschiffen.

Die Neuzeit hat gelehrt, dass Schiffe für den Transport von Massengütern, wie Holz, Kohlen, Getreide etc., sich dann am vortheilhaftesten verwenden lassen, wenn ihre Ladefähigkeit bei angemessener Geschwindigkeit die grösste ist. Für die Fahrt auf unbegrenztem Wasser ist sicher das grösste Schiff bis jetzt noch nicht gebaut. Nur die Wassertiefen der anzulaufenden Häfen und die Hafenanlagen bilden für seine Grösse eine Grenze. Für die Kanalschiffahrt ist diese Grenze durch das Kanalprofil, die Schleusen-Grössen und andere Bauanlagen von vornherein fest bestimmt. Bei dem Dortmund-Ems-Kanal sind diese Anlagen für den Verkehr mit Schiffen von 600 t Ladefähigkeit eingerichtet, die sich jedoch durch völlige Schiffsform und leichte Eisenkonstruktion bei dem Tiefgang von 1,75 m auf 676 t steigern lässt. Um welchen Betrag die Ladefähigkeit bei 2,00 m Tiefgang der Versuchsschiffe zugenommen hat, ist aus der nachstehenden Tabelle zu ersehen. Sie enthält auch die I. P. S. für die Fortbewegung der ganzen Ladung und das Gewicht der Ladung, welches von jeder I. P. S. bei Geschwindigkeiten von 5 km/std. und 4 km/std. fortbewegt werden kann.

Lfd. No.	Bezeichnung der Schiffe und der Beförderungsart	T = 1,75 m; G = 5 km/std.			T = 2,0 m; G = 4 km/std.		
		Ladung t	I. P. S.	Ladung für jede I. P. S. t	Ladung t	I. P. S.	Ladung für jede I. P. S. t
1	Dortmund alleinfahrend . . . . .	652	62,0	10,5	780	42,5	18,4
2	Emden von Goedhart geschleppt . . . . .	676	56,0	12,1	805	40,0	20,1
3	Lloydkahn von Goedhart geschleppt . . . . .	367	31,5	11,7	461	25,5	18,1
4	Emden und Dortmund von Goedhart geschleppt . . . . .	1352	125,0	10,8	1610	108,0	14,9

Nach vorstehenden Zahlen würde die Beförderungsart unter No. 2 vortheilhafter sein als diejenigen unter 1, 3 und 4. Der Unterschied gegenüber No. 1 rührt vornehmlich daher, dass Emden nicht wie Dortmund eine Maschine und Kohlenvorrath bei sich führen musste und deshalb eine grössere Nutzlast einnehmen konnte.

No. 3 Lloydkahn steht dem Schleppzug No. 4 Emden und Dortmund von Goedhart geschleppt annähernd gleich, er ist aber ungünstiger wegen seiner geringeren Gesamtladefähigkeit.



Auf Grund von Berechnungen, die im Einzelnen durchgeführt wurden, sind die Kosten der Beförderung einer Ladung im Gewicht von 600 t für eine Reise von Dortmund nach Emden für 3 verschiedene Arten der Beförderung für Geschwindigkeiten von 5 km/std. und 4 km/std. ermittelt worden. Es wurden dabei in Rechnung gezogen die Verzinsung der Kosten des schwimmenden Materials, die Unterhaltung, Abnutzung und Versicherung, die Verwaltungskosten, die Löhne nach den zur Zeit üblichen Sätzen, die Krankenkassen-, Unfall-, Alters- und Invalidenversicherung, der Verbrauch an Kohlen, Schmier-, Beleuchtungs- und andern Materialien. Danach ergeben sich auf 600 t berechnet:

Lfd. No.	Bezeichnung der Beförderungsart	Die Kosten der ganzen Fahrt von Dortmund bis Emden	
		Bei Geschwindigkeit von 5 km/std.	4 km/std.
		M.	M.
		2	3
1	Schleppdampfer mit einem Kahn im Anhang . . . . .	359,40	318,90
2	Schleppdampfer mit zwei Kähnen im Anhang . . . . .	325,80	311,00
3	Dampfkahn . . . . .	279,90	253,40

Aus einem Vergleich der Zahlen in Spalte 2 und 3 ergibt sich die Beförderung unter No. 3 mittels eines Dampfkahns als die vorteilhafteste.

Ausser den vorstehend angegebenen Kosten entstehen noch andere unvermeidliche Kosten, die mehr zufälliger Natur sind. Dazu gehören die Kanal- und Hafengebühren sowie die ungenügende Ausnutzung des Betriebskapitals während der Zeit, in der die Schiffe in den Häfen still liegen, um dort zu laden und zu löschen, oder gar auf Ladung zu warten. Will man diese Kosten in Ansatz bringen, so sind beispielsweise zuzusetzen:

1. die Abgaben für eine Schiffsladung von 600 t nach den  
z. Z. bestehenden Tarifsätzen . . . . . 115 M.
2. für jeden Liegetag eines Schleppdampfers von 75 I. P. S. 34 „
3. „ „ „ „ Schleppkahnes . . . . . 26 „
4. „ „ „ „ Dampfkahnes . . . . . 45 „

Man erkennt, wie mit der Zunahme dieser Kosten die Vorzüge der einen oder der anderen Beförderungsart und der wirtschaftliche Nutzen des Schiffsbetriebes überhaupt herabgedrückt werden. Daraus geht hervor, was ohnehin schon bekannt ist, dass man darauf bedacht sein muss, eine Herabminderung der Abgabensätze herbeizuführen



und den Aufenthalt in den Häfen möglichst abzukürzen. Letzteres lässt sich erreichen durch die Beschaffung der besten Lade- und Löschorrichtungen und durch kaufmännische Umsicht.

Die Bestrebungen an die Stelle der Schiffsschraube ein anderes, für die Kanalschiffahrt besser geeignetes Fortbewegungsmittel zu setzen, haben bisher zu keinem befriedigenden Resultat geführt. Zweifellos würde eine geeignete Zugkraft vom Ufer ausgehend weniger nachtheilig auf das Kanalprofil einwirken, wenn es gelänge, eine solche Kraft mit der durch die Schiffsschraube erreichbaren Wirkung einzuführen. Dem Anscheine nach wird dieses durch die elektrische Kraft zu erreichen sein. Hoffen wir deshalb, dass die seit längerer Zeit im Gange befindlichen und für die nächste Zukunft vorbereiteten Versuche zu practisch und wirthschaftlich brauchbaren Resultaten führen.

Ueber Grösse, Völligkeit, Ladefähigkeit und allgemeine Einrichtung der Schiffskörper, sowie der Dampfmaschinen von Dortmund und Goedhart wurden Angaben auf Seite 24 und 26 gemacht. Die der Löffelform nachgebildete Schiffsform ist schon vor vielen Jahren in England bei der Construction flachgehender Schiffe für den „Irawaddy“ und andere indische Flüsse, zur Anwendung gekommen. Sie unterscheidet sich von der sonst für Schiffe ziemlich allgemein gebräuchlichen Form nur durch die Verschiedenheit der Zuschärfungen vor und hinter dem prismatischen Mittelschiff. Aus den Schiffszeichnungen auf *Tafel 76* ist die Löffelform des Emden zu erkennen, während der Lloydkahn in seinem Vor- und Hinterschiff mehr die Keilform zeigt, die bei Seeschiffen gewöhnlich zur Anwendung kommt.

Wäre ein Lastschiff von derselben Völligkeit, wie Emden mit keilförmigen Enden zur Verfügung gewesen, dann hätte man den Einfluss der Form feststellen können. Eine Widerstandsberechnung nach einer in Keilform ausgeführten Zeichnung würde, da die Querschnitte dieser Form und der Löffelform bei gleichem Völligkeitsgrad, welche für dieselben Punkte der Länge der Schiffe gelten, im Flächeninhalt nur wenig verschieden sein können, für gleiche Schiffsgeschwindigkeit auch nahezu gleiche Zugkraft ergeben. Bestimmt wird dieses auch der Fall sein, bei gleichmässigen Geschwindigkeiten von 5 km/std. und 4 km/std. und gleichmässigen Tiefgängen von 1,75 m und 2,00 m. Aber auch bei grösserem Tiefgang und grösserer Geschwindigkeit kann der Unterschied nicht von Bedeutung sein.

	Goedhart schleppte	
	Emden	Lloydkahn
	T 1,75 m	T 1,75 m
	G 1,40 m/sec.	G 1,40 m/sec.
Das Deplacement betrug	815 t	577 t
Der Widerstand „	840 kg	510 kg



	Emden	Lloydkahn
T	2,00 m	2,00 m
G	1,11 m/sec.	1,11 m/sec.
Das Deplacement betrug	944 t	674 t
Der Widerstand „	650 kg	460 kg
Die Widerstände für eine Tonne Deplacement betragen		
	1,031 kg	0,867 kg
	0,688 kg	0,684 kg
und ihre Unterschiede	$1,03 - 0,867 = 0,164$ kg	
	$0,688 - 0,684 = 0,004$ kg	

sodass von einem durch die Schiffsform entstandenen Vortheil kaum gesprochen werden kann. Es stellt sich das Verhältniss sogar zu Gunsten von Emden, wenn man berücksichtigt, dass dieses Schiff um 0,1 m breiter, als der Lloydkahn ist. Diese grössere Breite, welche bei der Fahrt in demselben Kanal den Widerstand in erhöhtem Maasse vermehrt und 1,2% der Breite des Lloydkahn beträgt, ist auch die Veranlassung, dass Emden bei 1,4 m/sec. Geschwindigkeit 16% mehr Widerstand für jede Tonne erleidet, als der Lloydkahn. Ein Schiff von der Form des Emden mit nur 8 m Breite und entsprechend mehr Länge, so dass das Deplacement 815 t Grösse behält, würde nahezu denselben Widerstand für eine Tonne Deplacement ergeben, wie der Lloydkahn d. i. etwa 0,867 kg.

Die Steuerfähigkeit der beiden Lastschiffe war im Schlepptau des Goedhart bei den angegebenen Tiefgängen und Geschwindigkeiten gleichmässig genügend, es lässt sich also eine Bevorzugung des einen Typ vor dem anderen aus diesem Grunde nicht herleiten.

Auch für den Kanal macht es keinen Unterschied, welche dieser beiden Schiffsformen ihn befahren, denn nach den Angaben in den Tabellen Seite 98 sind die Unterschiede in den Strömungen am Ufer nicht gross. Ebenso werden, da die zur Verwendung kommenden Pferdestärken des Schleppdampfers bei gleicher Grösse, Geschwindigkeit und Belastung der Schiffe gleich sein werden, auch die für den Slip hiervon in Anrechnung zu bringenden Theile nicht wesentlich von einander verschieden sein. Hieraus folgt wieder, dass der Angriff auf die Kanalsohle nahezu gleich stark ist und somit auch unter Berücksichtigung dieser Umstände beide Schiffsarten als gleichwerthig zu betrachten sind.

Dasselbe gilt von der Zusammensetzung der Schleppzüge aus zwei Lastschiffen hinter einem Schleppdampfer. Auch für diese sind beide Formen von gleichem Werth, nur wird die zur Ueberwindung des mit der Zeit nahezu verdoppelten Widerstandes und ebenso die auf den Slip zu verwendende Maschinenkraft wesentlich grösser.



Dies führt zu einer Betrachtung der Construction und Einrichtung des Schleppdampfers und seiner Maschine, welche im Allgemeinen auf Seite 27 beschrieben wurde.

Der Dampfer Goedhart war in seiner Form und Bauart ganz brauchbar und die Maschine arbeitete zufriedenstellend, wenn sie von einem geübten Maschinisten bedient wurde. Das Manövriren mit dem Schiff war leicht, es gehorchte dem Ruder und sein eigener Widerstand im Wasser war bei den kleinen Geschwindigkeiten unbedeutend wie sich aus den Kurven *Fig. 5 bis 15 Tafel 75* erkennen lässt. Nur war der Schraubenslip zu gross, wodurch verhältnissmässig viel Kraft verloren ging und, wie schon mehrfach hervorgehoben, die Kanalsohle empfindlich geschädigt wurde.

Schleppdampfer mit Schaufelrädern sind wegen ihrer grossen Breite über den Rädern gemessen, ausgeschlossen. Zu empfehlen ist die Anwendung von 2 Schrauben, deren Vortheile die geringen Mehrkosten der dazu nöthigen zwei Maschinen weit überwiegen. Die Durchmesser der Schrauben können bei beschränkter Wassertiefe ein bestimmtes Maass nicht überschreiten. Unter dieser Beschränkung lassen sich zwei Schrauben so einrichten, dass sie einen besseren Nutzeffect erreichen als eine Schraube. Ueberall haben sich zwei Schrauben zur Fortbewegung von Schiffen besser bewährt, als eine, und ganz besonders wurden sie schon seit langer Zeit dort als Treibapparat verwendet, wo man nur über geringe Wassertiefen, wie in Kanälen und seichten Flüssen verfügen kann.

Die Verwendung von zwei Schrauben hat den grossen Vortheil, dass der von ihnen vermöge des Slips nach hinten gerichtete Wasserstrom in zwei Theile getheilt wird, von denen jeder höchstens die Hälfte des von einer Schraube mit der doppelten Kraft erzeugten Stromes trägt. Hierdurch wird die tiefe Aushöhlung der Kanalsohle vermieden, es entstehen vielmehr zwei flache Rinnen nebeneinander, die kaum halb so tief sind. Der Angriff wird mehr auf die Breite der Sohle vertheilt und erreicht nicht so bald die schädliche Tiefe.

Zwei Schrauben von kleinerem Durchmesser, die denselben Nutzeffect haben wie eine Schraube von grösserem Durchmesser und deren Wellenmitten in gleicher Höhe über dem Schiffsboden liegen, haben den doppelten Vortheil, dass sie um die Differenz ihrer Radien höher über der Kanalsohle und mit ihrer Oberkante um ebenso viel tiefer unter Wasser liegen. Dadurch vermehrt sich der Nutzeffect und vermindert sich der Slip und der Sohlenangriff.

Für die Form der mit eigener Dampfmaschine fortbewegten Lastschiffe gilt dasselbe, was von dem Schleppkahn Emden gesagt wurde. Die Löffelform eignet sich ebensowohl für den Bug wie für das Hinterschiff und für den Treibapparat, umso mehr wenn dieser aus zwei Schrauben besteht. Besonders werthvoll für die Kanalfahrt ist die grössere Manövrirfähigkeit dieser Schiffe. Die Westfälische Transport-Actien-Gesellschaft, welche den Dampfkahn Dortmund seit Eröffnung des Kanals in Betrieb genommen hat, verwendet diesen zum Gütertransport und zugleich als Schleppdampfer für einen



zweiten angehängten grossen Schleppkahn mit gutem Erfolg. Ganz besonders eignen sich derartige Schiffe für die Fahrt ohne Anhang, weil sie dann ganz selbstständig sind, bei Begegnungen und Ueberholen von Schleppzügen leicht manövriren und sicher und schnell in die Schleusen einfahren und diese wieder verlassen können.

Form und Bauart der Schiffe Emden und Dortmund werden unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Aenderung des Treibapparates, soweit sich aus den gelegentlich der Versuche gemachten Erfahrungen schliessen lässt, den Ansprüchen genügen, welche man an gute Lastschiffe für den Dortmund-Ems-Kanal machen kann. Dasselbe kann auch von dem Schleppdampfer gesagt werden, dessen Maschinenkraft von 200 I. P. S. für das Schleppen eines aus zwei beladenen Schiffen gebildeten Zuges gegen den Strom in der kanalisirten Ems bei höheren Wasserständen nicht ganz ausreichen wird. Anstatt jedoch zur Ueberwindung dieser Schwierigkeit alle Schleppdampfer für den Kanal mit kräftigerer Maschine auszustatten, wird es vortheilhafter sein, für solche Zeiten Hilfsdampfer in Bereitschaft zu halten.

Wie die Zeichnung der Schiffe zeigt, haben beide in ihrem Deck einen nicht unbedeutenden Sprung. Das Deck steigt von der niedrigsten Stelle aus nach vorn mehr, nach hinten weniger. Mit dieser Anordnung ist wahrscheinlich nur beabsichtigt, das äussere Ansehen dem allgemeinen Gebrauch entsprechend, den Seeschiffen ähnlich zu gestalten. Bei den Kanalschiffen, die nicht dem Seegang ausgesetzt sind, kann die Erhebung der Decks ohne Nachtheil fortfallen und dieses parallel mit dem Boden des Schiffes gelegt werden. Ein kleines Schanzkleid vorn, ähnlich wie das vorhandene, würde vollständig genügen. Ein etwaiger Zusammenstoss zweier gleich tief beladener Schiffe müsste dann stets bei beiden die zur Aufnahme des Stosses bestimmte Scheuerleiste treffen, und es würde das horizontalliegende Deck ein gutes Widerlager gegen Einbeulungen abgeben.

Als obere Gurtung gegen etwaiges Durchbiegen des Schiffes der Länge nach ist ein solches Deck ebenfalls vorzuziehen.

Der hölzerne Vorsteven soll vermuthlich die Wirkung eines Stosses abschwächen, da er aber kein Widerlager in der hinter ihm liegenden schwachen Eisenconstruction hat, so wird er bei etwa vorkommenden, wenn auch nur leichten Zusammenstössen, bei denen der Vorsteven mitwirkt, leicht zerbrechen und daher am besten ganz fortbleiben. Die hierdurch und durch die Aenderungen des Decks entstehenden Ersparungen an Eigengewicht des Schiffes lassen sich gut zur Verstärkung des Buges von Innen aus verwerthen.

Das über das Heck ziemlich weit hinausragende Ruder ist einer Beschädigung leicht ausgesetzt. Bei den Versuchsfahrten sind derartige Beschädigungen vorgekommen. Wären die Ruder durch Verlängerung des Hecks mehr geschützt gewesen, so wäre den Beschädigungen vorgebeugt worden. Ferner könnte, ohne Nachtheil für die Räume im Hinterende des Schiffes, die Schnittlinie der Mittelebene mit der Aussenhaut so gestaltet



werden, dass dem vor dem Schaft liegenden Theile des Ruders eine grössere Fläche gegeben werden kann, dann darf seine Länge nach hinten entsprechend kürzer sein, ohne die Ruderwirkung zu beeinträchtigen. Das Drehen des Ruders wird dadurch erleichtert.

Bei Dortmund ist das Ruder ohne den vor dem Ruderschaft liegenden Theil ausgeführt, weil dessen Stelle von der Schraube eingenommen wird. Werden zwei Schrauben angeordnet, dann kann die Form des Ruders wie für Emden auch für die Dortmund-Klasse beibehalten werden. Ihre Steuerkraft wird dadurch vermehrt und die zur Ruderbewegung nöthige Kraft verkleinert. Wird dann die Dampfsteuermaschine bei dieser Klasse eingeführt, so muss die Steuerfähigkeit wesentlich verbessert und das Manövriren erleichtert werden. Das gilt aber auch von der Emden-Klasse, deren Steuermaschine während der Versuche regelmässig zwei Mann zu ihrer Bedienung erforderte, und selbst diesen war es nicht möglich, das Ruder schnell von Bord zu Bord zu legen. Es sollte daher jedes Mittel angewendet werden, das zu einer Verbesserung der Steuerfähigkeit beitragen kann.

Bei den Versuchen brachen mehrfach die gusseisernen Poller, an welchen die Schlepptaue befestigt waren, die Emden und Dortmund mit einander verbanden. Sie sind auf den dünnen eisernen Decks mittelst Schrauben befestigt. Wenn auch unter den Deckplatten einige Verstärkungen angebracht waren, so genügten diese doch nicht, um Biegungen der geriffelten Deckplatten ganz zu verhindern, diese gaben dann, bei Anwendung einer grösseren durch die Poller zu übertragenden Kraft, zu Brüchen ihrer Sohle Veranlassung, wodurch mehrfach empfindliche Störungen verursacht wurden. Besser wäre es, die vorderen und hinteren Poller sämmtlich aus Schmiedeeisen anzufertigen, was nicht kostspieliger sein dürfte, als für die gusseisernen Poller stärkere Fundamente zu schaffen, die nicht durchbiegen können.

Der Lloydkahn, der hauptsächlich über See fahren soll, war viel stärker gebaut, als die Kanalschiffe, und seine Einrichtungen auf Deck, sowie die höchsten Punkte des Schiffs lagen so hoch, dass er bei seiner Fahrt nach Lingen bis auf 2 m Tiefgang beladen sein musste, um unter den Kanalbrücken durchfahren zu können. Bei Schiffen, welche die See und den Kanal befahren sollen, muss hierauf von vorne herein Rücksicht genommen werden.



## VII.

**Ueber einige Mängel der Versuchsstrecke und deren Einrichtung.**

Gelegentlich der Beschreibung der Versuchsstrecke, (Seite 6 u. ff.) und der Ausführung der Versuche, sowie ihrer Ergebnisse ist mehrfach auf Unvollkommenheiten der Einrichtungen hingewiesen worden, welche die Zuverlässigkeit der Ergebnisse in gewissem Umfange beeinflusst haben. Von besonderem Nachtheil ist dieser Einfluss zwar nicht gewesen; immerhin mögen hier einige Andeutungen gemacht werden über Verbesserungen, die sich später als empfehlenswerth herausgestellt haben.

Die gewählte Versuchsstrecke war auf weite Entfernungen hin die am meisten geeignete. Besser wäre noch gewesen, wenn sie eine grössere Länge gehabt hätte. Sie war genügend für den Anlauf und für die Beobachtungsstrecke, aber für den Auslauf war das Ende zwischen der Beobachtungsstrecke und der Brücke bei Altenlingen zu kurz.

Diese mit einem Schleppzug mit grosser Geschwindigkeit zu durchfahren, war nicht ungefährlich und deshalb musste der ganze Zug hinter der Beobachtungsstrecke, abgestoppt werden. Die Folge hiervon waren mehrere Zusammenstösse und Pollerbrüche. Besonders nachtheilig war der Umstand, dass das Wasser in der Beobachtungsstrecke durch das plötzliche Abstoppen der Schiffe in seiner Strömung behindert wurde. Hierdurch entstanden Wirbel und fast plötzlicher Stillstand, ja häufig ein Zurücklaufen des Wassers in die Versuchsstrecke. Die dem Wasser während der Versuchsfahrt beigemischten erdigen Bestandtheile lagerten sich in der Beobachtungsstrecke unregelmässig ab und bewirkten, dass die Profile nach Abschluss der Versuche kleiner geworden waren, als sie bei Beginn derselben waren.

Hierdurch wurde es unthunlich, die Aenderung der Profile während einer gewissen Anzahl mit gleicher Geschwindigkeit und gleichem Tiefgang der Schiffe gemachten Versuchsfahrten richtig zu bestimmen. Ausserdem wuchs der Schiffswiderstand mit der Verengung der Profile, wodurch die Zugkräfte nicht so gleichmässig geworden sind, wie es der Fall gewesen wäre, wenn das Abstoppen bis etwa 500 m über die Beobachtungsstrecke hinaus hätte geschehen dürfen.

Zu empfehlen ist ferner ein Wendeplatz am Anfang und am Ende der ganzen Versuchsstrecke. Die Schiffe lassen sich dann leichter zurückschleppen, weil sie besser steuern können, als wenn sie rückwärts geschleppt werden.



Ferner müssen die Stangen der Baken, welche den Rudersleuten die Mitte des Fahrwassers zeigen, gut sichtbar sein und in grösserer Entfernung, d. i. mindestens 200 m, hintereinander aufgestellt werden, um ihren Zweck zu erfüllen.

Von besonderer Wichtigkeit ist der Wasserstand des Kanals, der möglichst gleichmässig gehalten werden muss, damit die Nachteile des Wasserstandswechsels und der Strömungen vermieden werden. Beides liess sich während der Versuche bei Lingen nicht erreichen, weil der Kanal schon in Betrieb genommen war. An manchen Tagen wechselte der Wasserstand um 5 bis 10 cm, und nur an wenigen Tagen blieb er sich völlig gleich.

Für die Eintheilung der Pegelscalen am Lande möchte die für photographische Aufnahmen am meisten geeignete Farbe noch durch Versuche zu ermitteln sein. Erwünscht wären Pegel, welche ihre Angaben in vergrössertem Maassstabe machen, um sie dadurch leichter und sicherer von den Photographieen ablesen zu können. Dasselbe gilt von den Einsenkungspegeln auf den Versuchsschiffen, die besonders dort, wo bei kleiner Geschwindigkeit des Schiffes die Einsenkungshöhe nur klein ist, mindestens auf 0,5 cm genau festgestellt werden muss. Ein Centimeter zu viel oder zu wenig, kann die Einsenkung schon um 25 % und mehr unrichtig machen.

Durch die Vorrichtungen, mit denen die Einsenkungshöhen der Schiffe aufgenommen wurden, liessen sich nur die Höhen messen. Es wurde jedoch nachgewiesen, dass die Schiffe nicht genau horizontal lagen, wenn sie sich in der Fahrt ausserhalb der Mittellinie des Kanals befanden. Nur wenn man diese Neigung kennt, kann man in den Zeichnungen die Wasserlinie an beiden Schiffsseiten genau auftragen. Es sind deshalb Libellen so aufzustellen und genau zu beobachten, dass im Augenblick der Momentaufnahme des Schiffes seine Neigung festgestellt werden kann.

Es darf auch hier nicht unerwähnt bleiben, was bereits auf Seite 60 angedeutet wurde, dass es vortheilhaft gewesen wäre, beide Ufer- und Schiffsseiten einschliesslich der Einsenkungsmaasse vorn und hinten zu gleicher Zeit aufzunehmen, und deshalb die vollkommen symetrische Aufstellung der darauf bezüglichen Einrichtungen auf beiden Ufern des Kanals anempfohlen werden muss.

Ferner können Messungen der pendelartigen Bewegungen der Schiffe in der Längsrichtung den Einfluss der Verschiedenheiten der Profile und der Reibungswiderstände im Kanal auf die Trimmlage der Schiffe u. s. w. erforschen lassen. Hierzu sind entweder ebenfalls Wasserwagen oder lange im Schiffsraum geschützt aufgehängte Pendel geeignet. Letztere können von der Seite und von vorne aus gleichzeitig photographisch aufgenommen für die Feststellung der Neigungen nach der Seite und nach der Länge gleichzeitig verwerthet werden.

Die genaue Aufzeichnung der Wasserlinie am Schiff erfordert eine grössere Anzahl von Pegeln, als an den Versuchsschiffen angebracht waren. Vielleicht lässt sich dies durch einen Anstrich in hellgrauem Ton erreichen, auf dem die Pegel in möglichst



geringen Abständen anzubringen sein würden. Der helle Anstrich wird besonders die Pegel am Hinterschiff deutlich erscheinen lassen, wo sie jetzt zum grössten Theil verdunkelt sind. Hierdurch müssen auch die Bug- und Heckwellen richtiger bestimmt werden können, von denen letztere fast alle geschätzt werden mussten.

Für die Feststellung des Einflusses verschiedener Schiffsformen auf die zur Fortbewegung nöthige Zugkraft waren die Versuche wenig ergiebig, weil nur zwei Typen von Lastschiffen zur Verfügung standen. Die daraus hergeleitete Widerstandsberechnung ist jedoch vollständig auf die Schiffsform begründet und berücksichtigt jede Abweichung von den Formen der Versuchsschiffe. Dennoch würden Untersuchungen anderer Formen zur Prüfung der Coefficienten erwünscht sein. Es kann deshalb für weitere Versuche eine Ausdehnung auf möglichst verschiedene Formen und Grössen nur anempfohlen werden.

Wichtig für die Vervollständigung der Kenntnisse von der Einsenkung der Schiffe während der Fahrt ist die Erforschung der Wasseroberfläche vor dem Schiff und neben demselben bis zu den Ufern. Das bei Lingen angewandte Verfahren giebt darüber keinen Aufschluss und noch weniger über Länge und Inhalt des Theiles der Einsenkung hinter den Schiffen, über die nur die Landpegel, die Pendel, sowie Wasserstand und Strömungen am Ufer einige Angaben liefern. Mehrfache Versuche, hierüber genauere Auskunft zu erlangen, hatten keinen Erfolg.





## Verzeichniss

zum Auffinden der einzelnen Versuche etc. auf den Tafeln.

Datum des Versuches 1898	Nr.	Tiefgang T m	Geschwindig- keit G m/sec	Lichtdruckbilder				Photolithogra- phieen		
				zusammengesetzt aus Aufnahmen der Cameras 1. 2. 3		Einsenkungsaufnahmen der Camera 4		Tafel	Figur	
				Tafel	Reihe	Tafel	Reihe			
				1	2	3	4	5	6	7
<b>1. Goedhart allein fahrend.</b>										
16. 7.	0 0	1, $\frac{08}{88}$					1	V		
16. 7.	I 2	1, $\frac{08}{88}$	1,56	1	I	8	V	49	1	
16. 7.	II 2	1, $\frac{08}{88}$	1,66	1	II	8. 9	V	49	2	
16. 7.	III 3	1, $\frac{08}{88}$	2,36	1	III	9	V	49	3	
16. 7.	IV 3	1, $\frac{08}{88}$	2,70	1	IV	1	V	49	4	
<b>2. Dortmund allein fahrend.</b>										
15. 6.	00	1,50		5	I	4	V			
15. 6.	1	1,50	1,10	2	I	5	V	50	1	
15. 6.	1	1,50	1,25	2	II	5	V	50	2	
15. 6.	2	1,50	1,41	2	III	5	V	50	3	
15. 6.	2	1,50	1,72	2	IV	8	I	50	4	
15. 6.	1	1,50	1,77	2	V	8	I	50	5	
17. 6.	00	1,75		3	I	7	I			
18. 6.	2	1,75	1,02	3	II	8	I	50	6	
18. 6.	4	1,75	1,18	3	III	9	I	51	1	
28. 6.	4	1,75	1,56	3	IV	9	I	51	2	
30. 6.	9	1,75	1,67	3	V	8	II	51	3	
2. 7.	00	2,00		4	I	4	V			
2. 7.	1	2,00	0,98	4. 5	II	8. 9	II	51	4	
2. 7.	7	2,00	1,25	4. 5	III	9	II	51	5. 6	
4. 7.	4	2,00	1,42	4. 5	IV	8	III	52	1. 2	
7. 7.	00	2,25		6	I	7	I			
7. 7.	1	2,25	0,56	6. 7	II	8. 9	III	52	3	
7. 7.	1	2,25	0,79	6. 7	III	9	III	52	4	
7. 7.	1	2,25	1,04	6. 7	IV	8	IV	52	5. 6	
9. 7.	6	2,25	1,22	6. 7	V	8. 9	IV	49	5. 6	



Datum des Versuches 1898	Nr.	Tiefgang T m	Geschwindigkeit G m/sec	Lichtdruckbilder				Photolithogra- phieen	
				zusammengesetzt aus Aufnahmen der Cameras I. 2. 3		Einsenkungsaufnahmen der Camera 4		Tafel	Figur
				Tafel	Reihe	Tafel	Reihe		
				5	6	7	8		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>3. Emden von Goedhart geschleppt.</b>									
9. 5.	00	1,50		13	I	15	III		
9. 5.	2	1,50	1,02	10	I	16	III	53	1
9. 5.	4	1,50	1,24	10	II	16	III	53	2
10. 5.	7	1,50	1,48	10	III	17	III	53	3
10. 5.	8	1,50	1,70	10	IV	17	III	53	4
10. 5.	9	1,50	2,00	10	V	17	III	53	5
14. 5.	00	1,75		14	I	15	III		
14. 5.	1	1,75	0,96	11	I	15	IV	53	6
14. 5.	5	1,75	1,23	11	II	15	IV	54	1
17. 5.	5	1,75	1,54	11	III	15	IV	54	2
18. 5.	3	1,75	1,75	11	IV	16	IV	54	3
20. 5.	4	1,75	1,83	11	V	16	IV	54	4
24. 5.	00	2,00		12	I	15	III		
25. 5.	3	2,00	1,02	12. 13. 14	II	16	IV	54	5. 6
24. 5.	2	2,00	1,27	12. 13. 14	III	17	IV	55	1. 2
								56	1
26. 5.	2	2,00	1,54	12. 13. 14	IV	17	IV	55	3. 4
								56	3
27. 5.	7	2,00	1,63	12. 13. 14	V	17	IV	56	2
1. 6.	00	2,25		28	I	16	III		
2. 6.	4	2,25	1,04	15. 16. 17	I	15	V	56	4
3. 6.	4	2,25	1,18	15. 16. 17	II	15	V	55	5. 6
								56	5
<b>4. Lloydkahn von Goedhart geschleppt.</b>									
23. 8.	00	1,75		21	I	24	III		
24. 8.	1	1,75	1,14	18. 19. 20	I	26	III	57	1. 2
								58	1
24. 8.	1	1,75	1,43	18. 19. 20	II	26	III. IV	57	3. 4
								58	3
24. 8.	1	1,75	1,80	18. 19. 20	III	24	IV	57	5. 6
								58	5
25. 8.	2	1,75	2,00	18. 19. 20	IV	24. 25	IV	58	2
								59	1. 2



Datum des Versuches 1898	Nr.	Tiefgang T*	Geschwindigkeit G m/sec	Lichtdruckbilder				Photolithographien	
				zusammengesetzt aus Aufnahmen der Cameras 1. 2. 3		Einsenkungsaufnahmen der Camera 4		Tafel	Figur
				Tafel	Reihe	Tafel	Reihe		
				5	6	7	8	9	10
25. 8.	1	1,75		18. 19. 20	V	25	IV	58	4
								59	3. 4
17. 8.	00	2,00		22	I	24. 25	III		
17. 8.	1	2,00	0,92	21. 22. 23	II	26	IV	58	6
								59	5. 6
17. 8.	1	2,00	1,33	21. 22. 23	III	24	V	60	1. 2
								61	1
18. 8.	3	2,00	1,77	21. 22. 23	IV	24. 25	V	60	3. 4
								61	3
18. 8.	3	2,00	1,85	21. 22. 23	V	25	V	60	5. 6
								61	5
20. 8.	00	2,25		23	I	25	III		
20. 8.	1	2,25	1,01	24. 25. 26	I	26	V	61	2
20. 8.	1	2,25	1,27	24. 25. 26	II	26. 15	V	61	4

## 5. Emden von Dortmund geschleppt.

13. 6.	00	D. 1,50 E. 2,25		27 *	I	D. 27 E. 28	V V		
13. 6.	1	D. 1,50* E. 2,25	0,59	27. 28. 29	II	D. 29 E. 29	I V	62 63	1. 2 1
13. 6.	1	D. 1,50 E. 2,25	0,91	27. 28. 29	III	D. 29 E. 29	I V	62 63	3. 4 3
13. 6.	2	D. 1,50 E. 2,25	1,04	27. 28. 29	IV	D. 29 E. 29	I V	62 63	5. 6 5
3. 8.	00	1,50		30	I	D. 30	V		
5. 8.	00	1,50		33	I	E. 34	I		
12. 8.	4	1,50	1,44	30. 31. 32	II	D. 27 E. 28	V V	63 64	2 1. 2
23. 7.	00	1,75		31	I	D. 30. 31	V		
27. 7.	00	1,75		37	I	E. 38	I		
30. 7.	2	1,75	1,22	30. 31. 32	III	D. 32 E. 32	I I. V	63 64	4 3. 4
14. 7.	00	2,00				D. 31	V		
15. 7.	00	2,00		41	I	E. 42	I		
20. 7.	1	2,00	1,05	30. 31. 32	IV	D. 32 E. 9	V IV	63 64	6 5. 6

\* Für die Ablesung der Schiffspegel von Emden, ist die 00 Aufnahme von „Emden von Goedhart geschleppt“ vom 1. 6. Tafel 28 Reihe I zu verwenden.



Datum des Versuches 1898	Nr.	Tiefgang T m	Geschwindigkeit G m/sec	Lichtdruckbilder				Photolithogra- phieen		
				zusammengesetzt aus Aufnahmen der Cameras 1. 2. 3		Einsenkungsaufnahmen der Camera 4		Tafel	Figur	
				Tafel	Reihe	Tafel	Reihe			
				1	2	3	4	5	6	7
<b>6. Emden und Dortmund von Goedhart geschleppt.</b>										
3. 8.	00	1,50		30	I	D. 30	V			
5. 8.	00	1,50		33	I	E. 34	I			
5. 8.	1	1,50	1,06	33. 34. 35. 36	II	E. 34. 35	I	65	1. 2	
						D. 35	I			
6. 8.	1	1,50	1,30	33. 34. 35. 36	III	E. 36	I	66	1. 2	
						D. 36. 39	I			
6. 8.	1	1,50	1,49	33. 34. 35. 36	IV	E. 40	I	65	3. 4	
						D. 40. 47	I	66	3. 4	
6. 8.	1	1,50	1,85	33. 34. 35. 36	V	E. 45	I	65	5. 6	
						D. 45. 46	I	66	5. 6	
23. 7.	00	1,75		31	I	D. 30. 31	V			
27. 7.	00	1,75		37	I	E. 38	I			
27. 7.	2	1,75	0,54	37. 38. 39. 40	II	E. 46	I	67	1. 2	
						D. 45	II			
27. 7.	2	1,75	1,05	37. 38. 39. 40	III	E. 45. 46	II	68	1. 2	
						D. 46	II			
28. 7.	5	1,75	1,23	37. 38. 39. 40	IV	E. 45	III	67	3. 4	
						D. 45. 46	III	68	3. 4	
29. 7.	3	1,75	1,48	37. 38. 39. 40	V	E. 46	III	67	5. 6	
						D. 45	IV	68	5. 6	
14. 7.	00	2,00		*		D. 31	V			
15. 7.	00	2,00		41	I	E. 42	I			
15. 7.	2	2,00	1,10	41. 42. 43. 44	II	E. 45. 46	IV	69	1. 2	
						D. 46	IV			
15. 7.	2	2,00	1,20	41. 42. 43. 44	III	E. 45	V	69	3. 4	
						D. 45. 46	V	70	3. 4	
11. 7.	00	2,25		E. 43	I	E. 38. 42	I			
				D. 44	I	D. 39	I			
11. 7.	2	2,25	0,56	41. 42. 43. 44	IV	E. 46	V	70	1. 2	
						D. 16. 46	V			
11. 7.	1	2,25	0,70	41. 42. 43. 44	V	E. 16. 17	V	69	5. 6	
						D. 17	V	70	5. 6	

\* Für die Ablesung der Schiffspegel ist die 00 Aufnahme von „Dortmund allein fahrend“ vom 2. 7. Tafel 4, Reihe I, zu verwenden.





Fig 3 Darstellung der Fehler von Manometer I u. II.

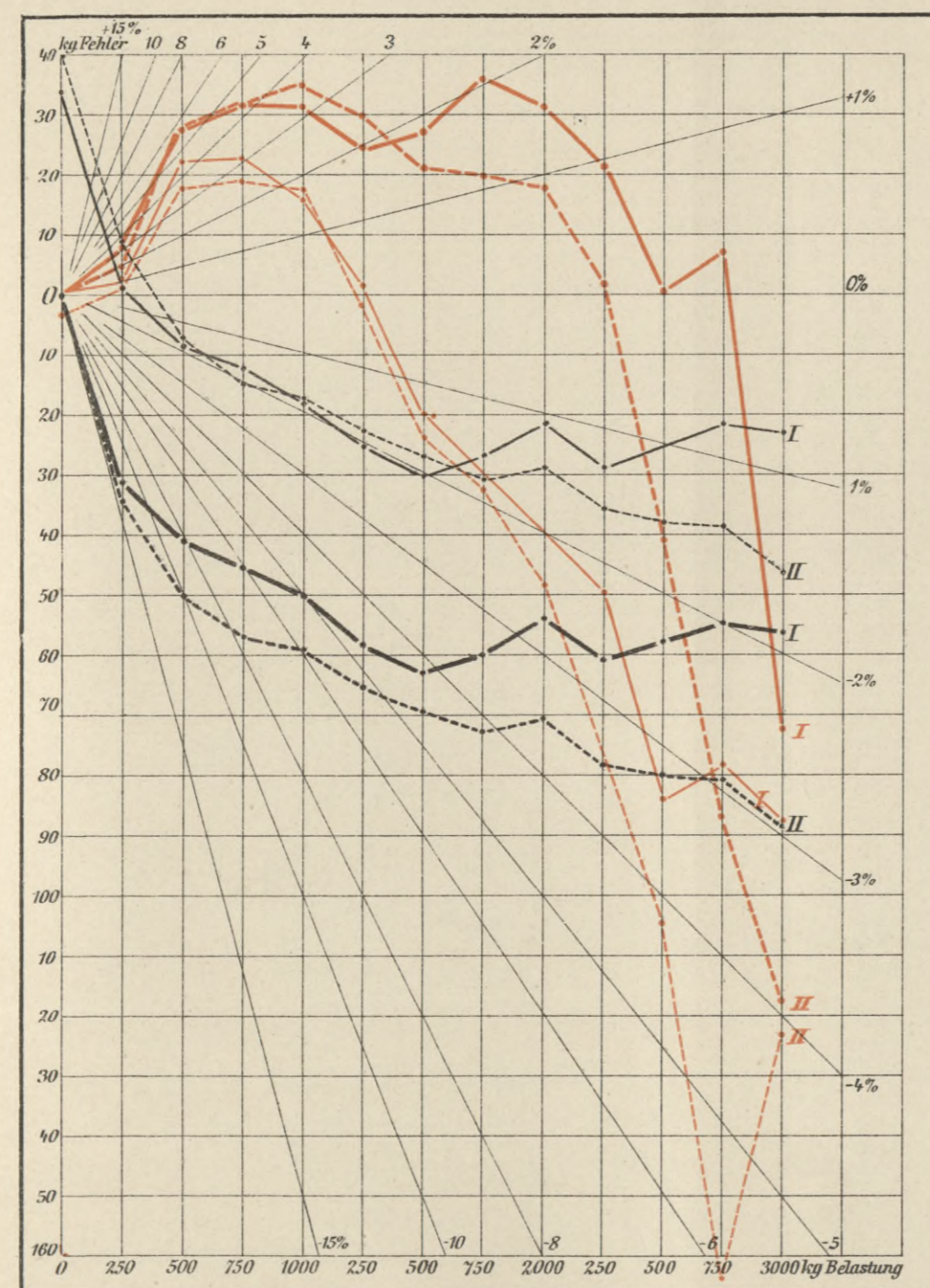


Fig 2 Maßstäbe.

Ausgezogene Linien-Belastung in kg, Gestrichelte Linien-Entlastung in kg.  
Schwarz für Manometer I, roth für Manometer II.

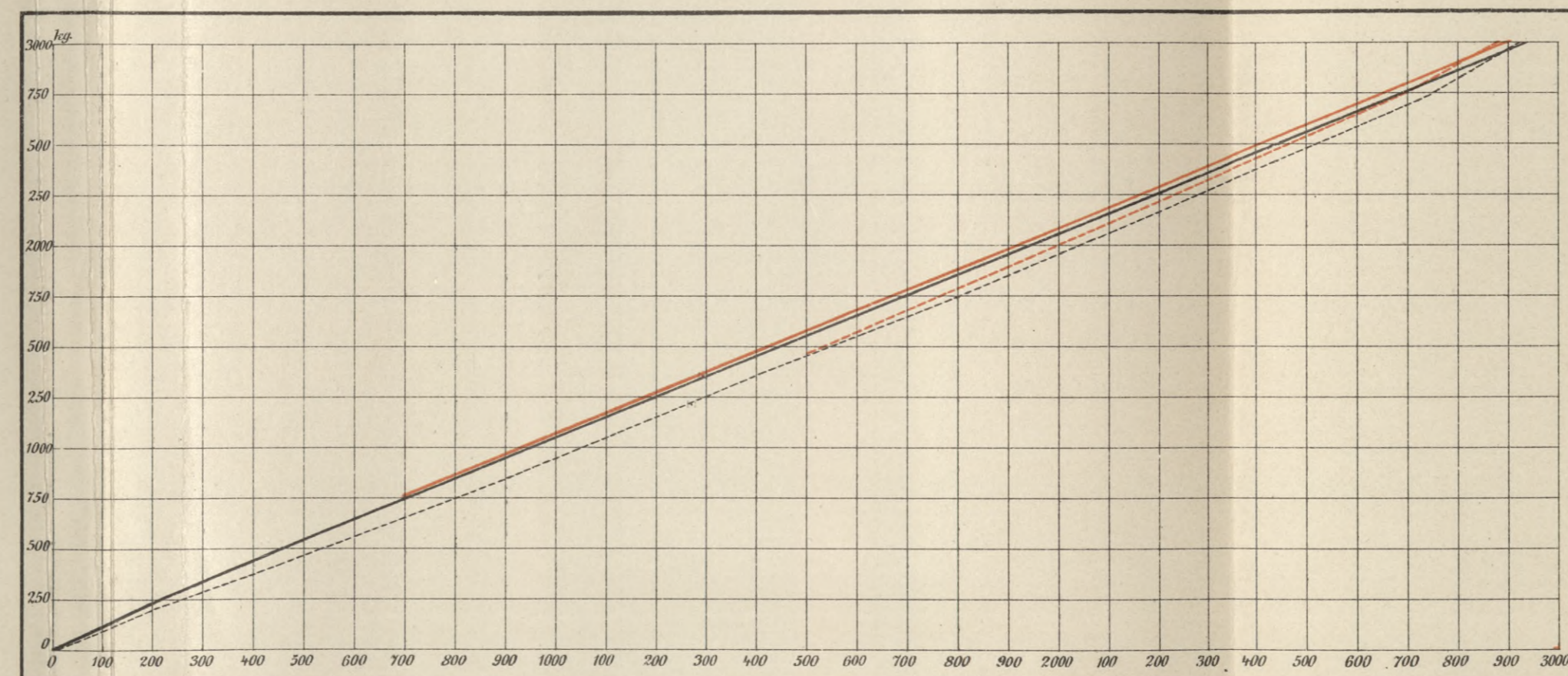


Fig 1 Diagramm des Geschwindigkeitsmessers.

Lloydkahn von Goedhart geschleppt.

18. 8. 1898. N° 1-3.

a ist Anfang, b Ende der Beobachtungsstrecke.

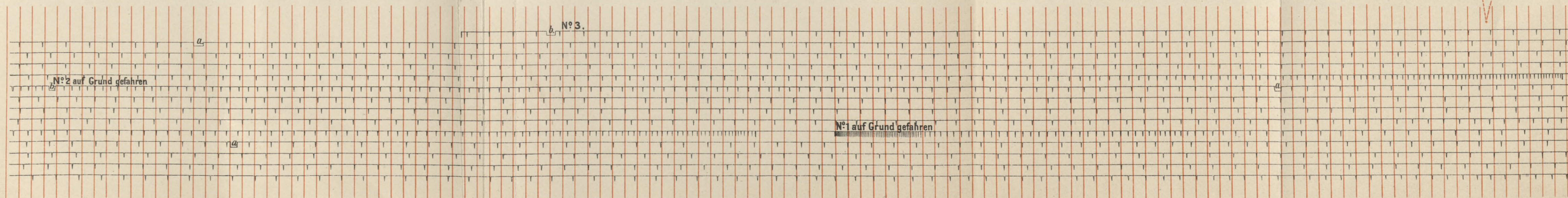


Fig 4 Darstellung der Fehler von Manometer I u. II nach der früheren Prüfung mit unmittelbar angehängten Belastungen.

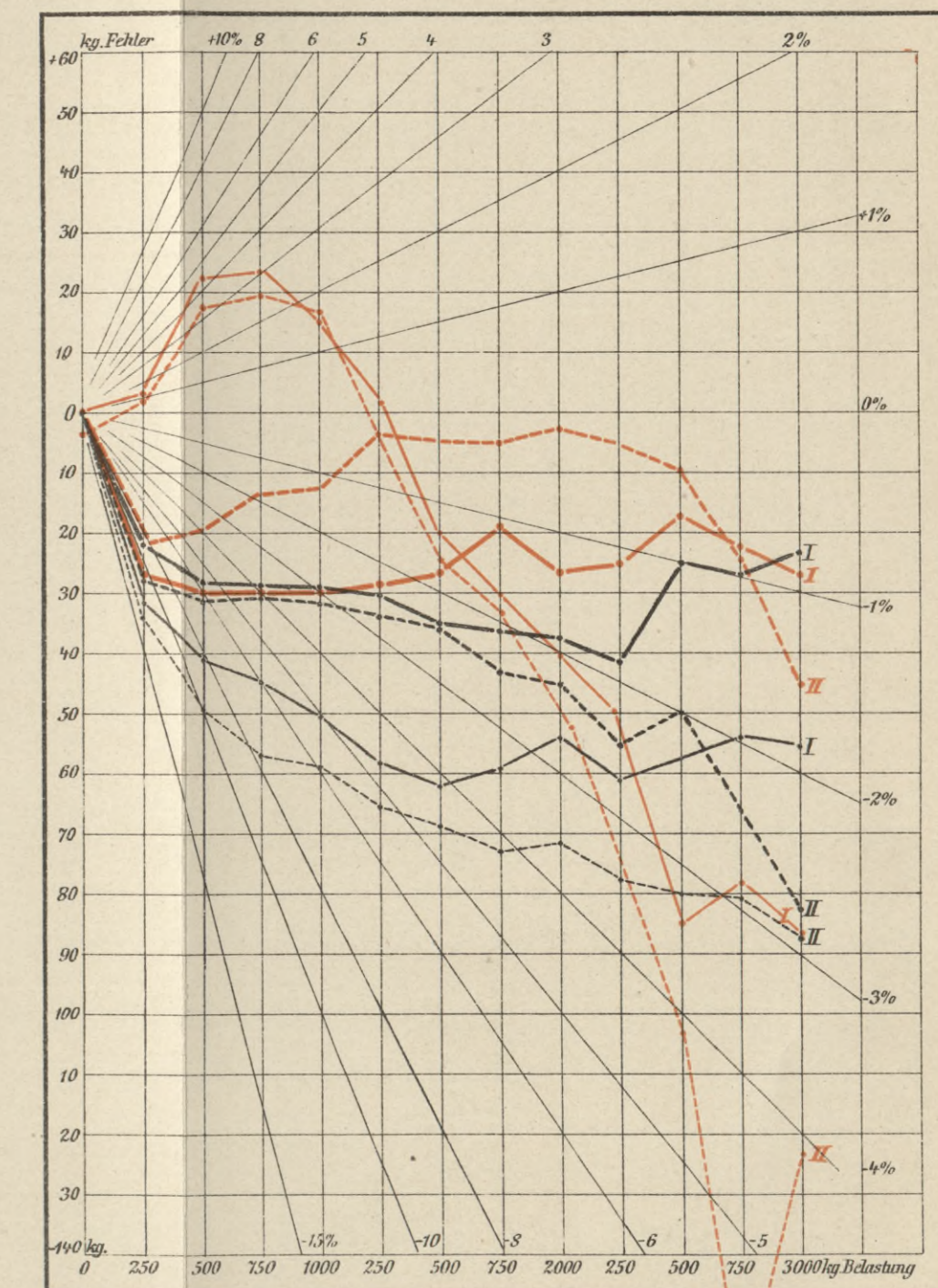








Fig. 1.  $\Delta Q$ -Kurve. Absc.  $v$ .

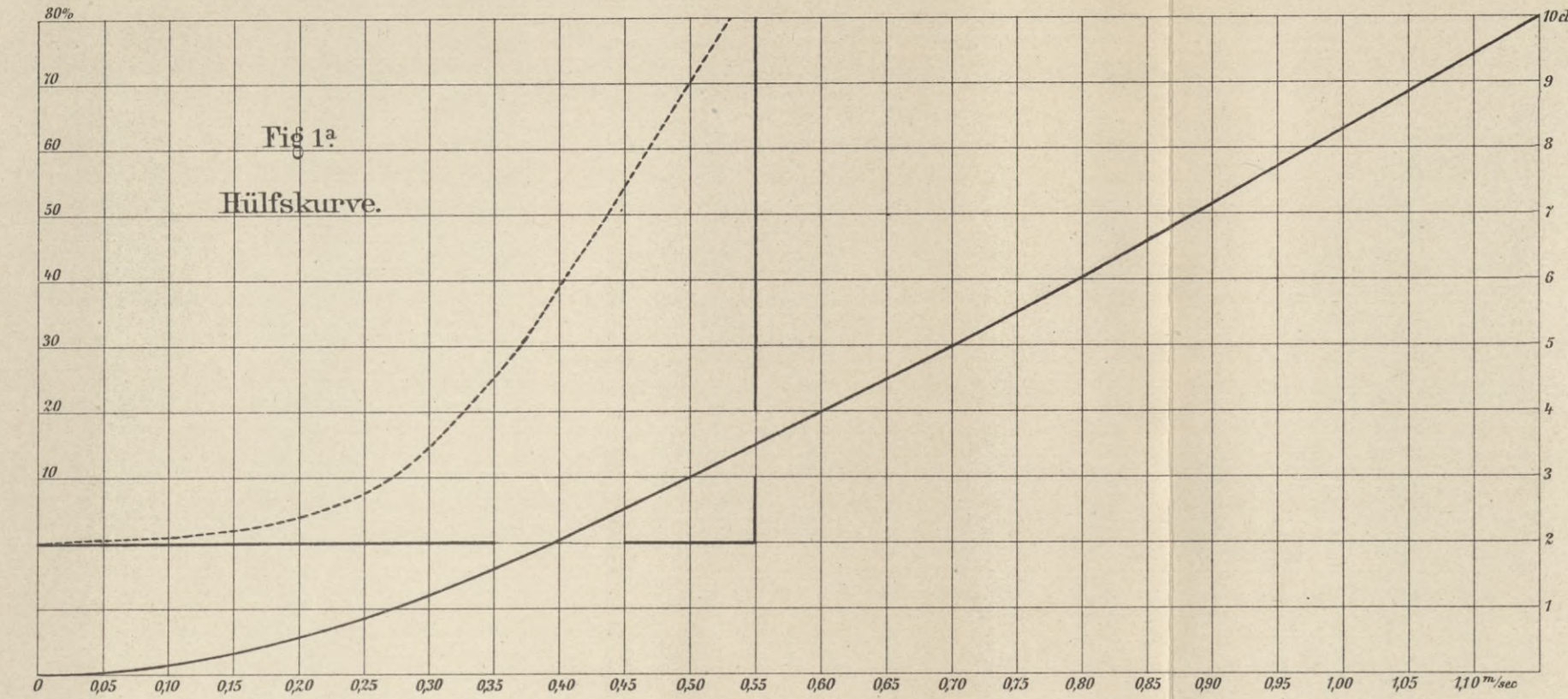


Fig. 4. Projektion der  $\zeta$ -Kurven auf die bei 100, 130, 160, 190, 220, 250, 280 m/sec gedachten Ebenen. Abscissen sind die Lagen der Displacementsschwerpunkte unter W.L.

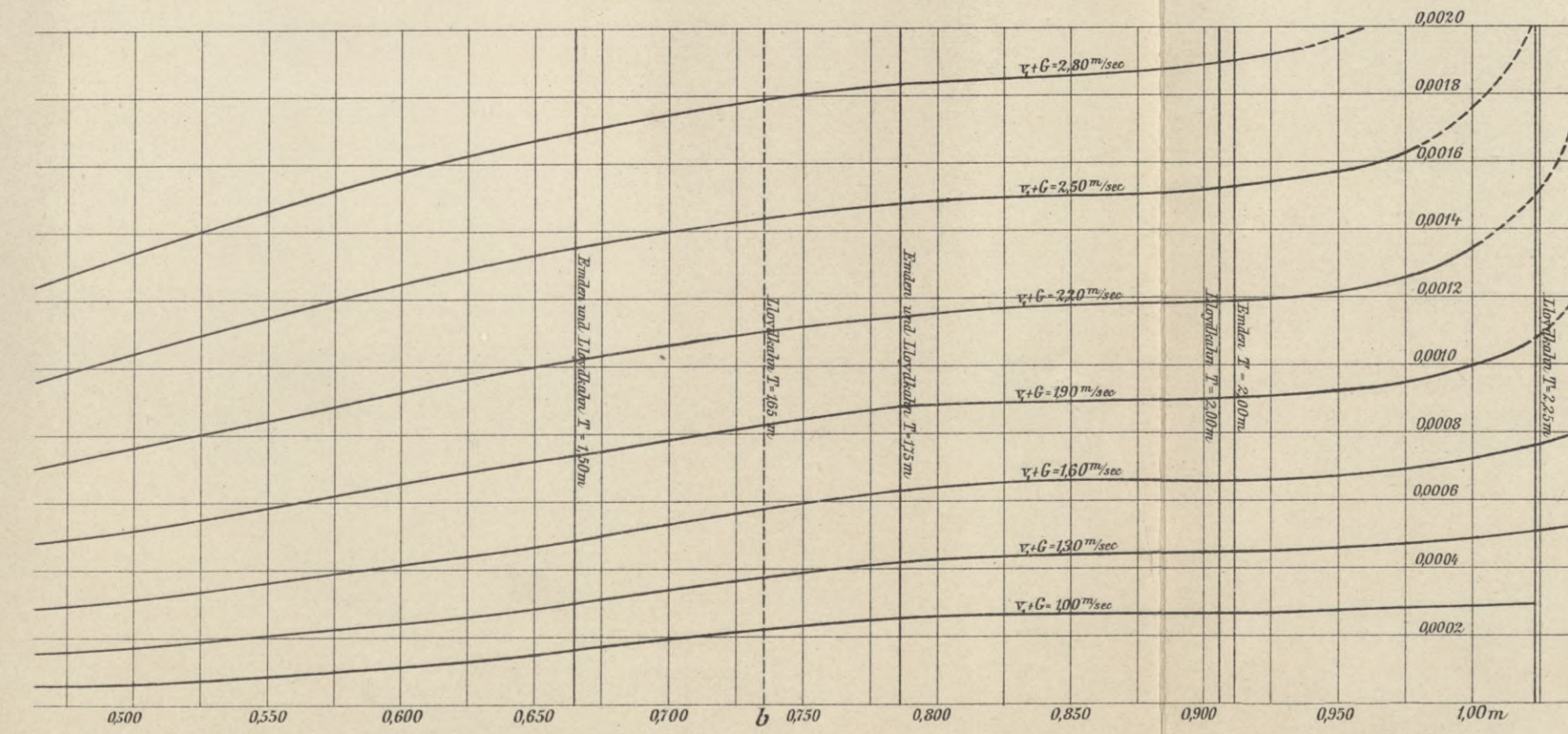


Fig. 2.  $\zeta$ -Kurven für Emden, geordnet nach Tiefgängen. Absc.  $v \cdot G$ .

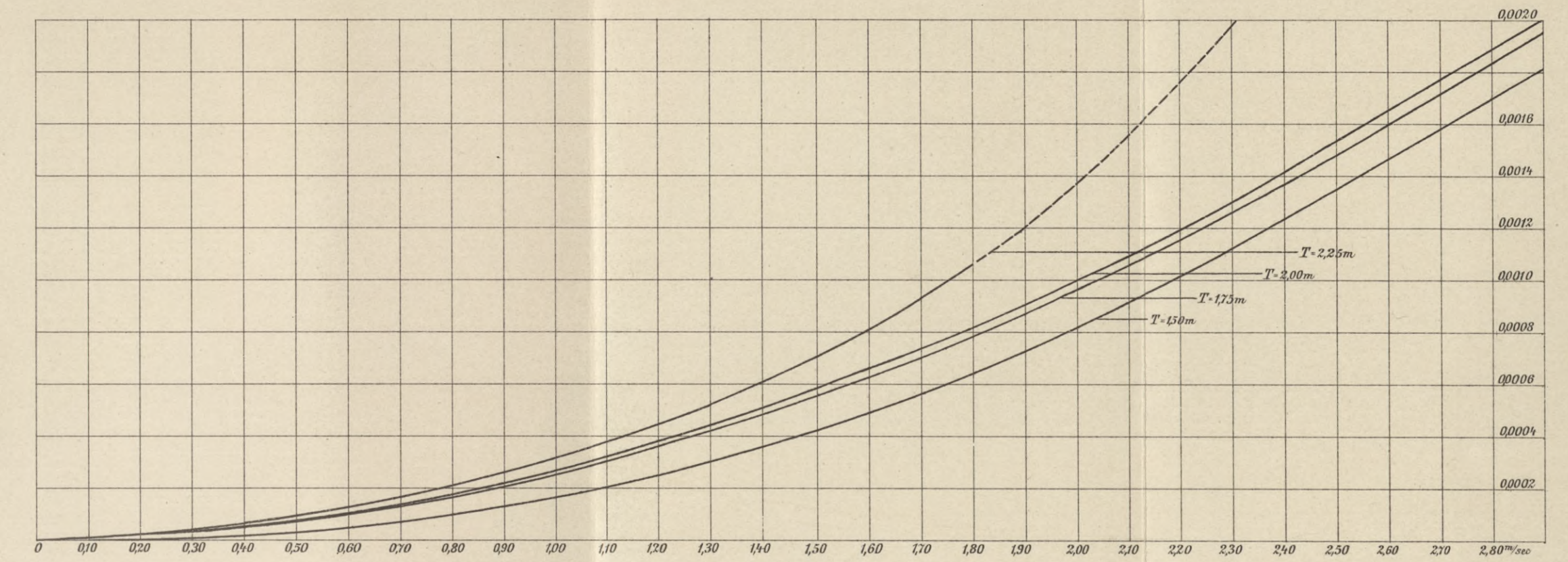
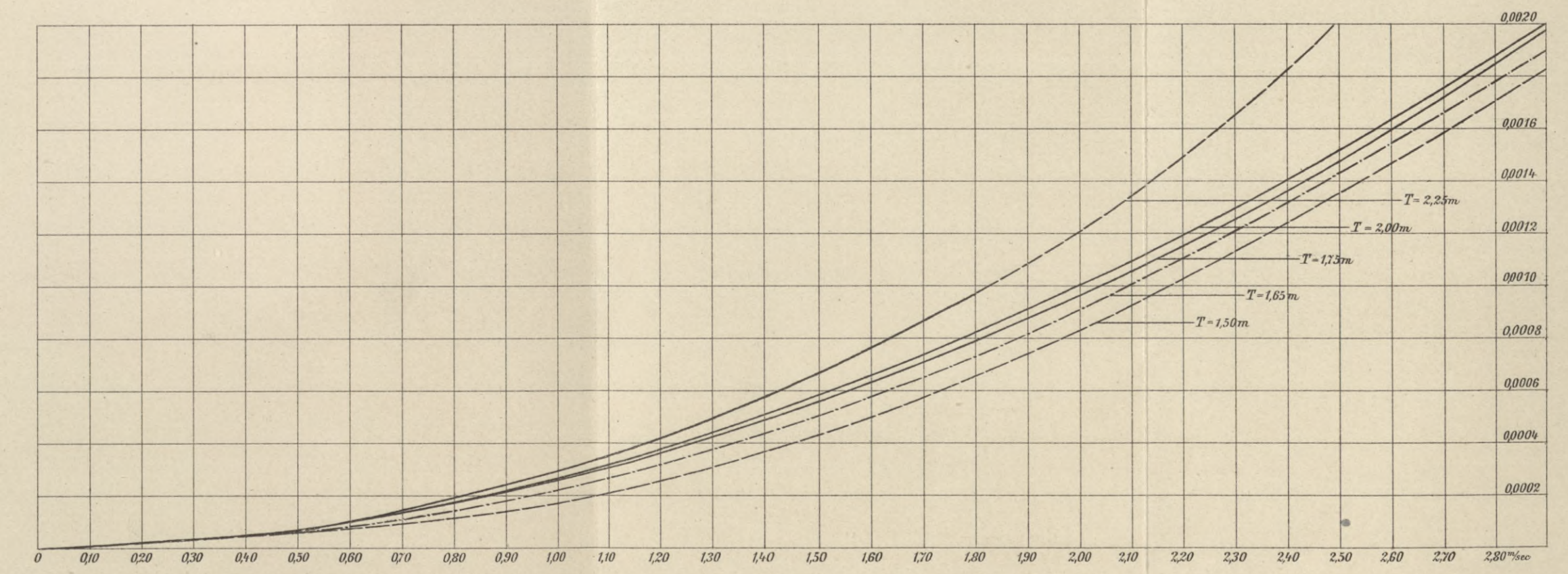


Fig. 3.  $\zeta$ -Kurven für Lloydkahn, geordnet nach Tiefgängen. Absc.  $v \cdot G$ .





















WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



18021

L. inw.

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300769