185 | Mai 1967

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

H. Keil

Verfahren zur Bestimmung des Seeverhaltens von Schiffen. Ein Vergleich am Beispiel des Forschungsschiffes „Meteor“

TUHH
Technische Universität Hamburg-Harburg

Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

Bericht Nr. 185

Verfahren zur Bestimmung des Seeverhaltens von Schiffen. Ein Vergleich am Beispiel des Forschungsschiffes "Meteor".

Harald Keil

Hamburg, Mai 1967

Inhaltsübersicht:

1. Einleitung
2. Verfahren zur Bestimmung der Übertragungsfunktionen
2.1. Theoretische Verfahren
2.2. Experimentelle Verfahren
2.2.1. Modellversuche in regelmäßigen Wellen
2.2.2. Modellversuche in unregelmäßigem Seegang mit Linienspektren
2.2.3. Modellversuche in unregelmäßigem Seegang mit kontinuierlichem Spektrum
2.2.4. Großversuche in natürlichem Seegang
3. Untersuchungen am Forschungsschiff "Meteor"
3.1. Modellversuche
3.2. Rechnungen
3.3. Großversuche
3.4. Gegenüberstellung der Ergebnisse
4. Zusammenfassung
5. Nomenklatur
6. Literatur
7. Abbildungen

1. Einleitung

Immer häufiger richteten in den letzten Jahren Reeder und Konstrukteur beim Entwurf von Schiffen ihr Augenmerk auf das Seeverhalten. Ein Grund dafür ist die Tatsache, daß durch die Fortschritte der Wissenschaft auf diesem Gebiet in den letzten zwei Jahrzehnten heute quantitative Aussagen über die Bewegungen eines Schiffes und die damit verbundenen Beanspruchungen der Hauptverbände und Widerstandserhöhungen gemacht werden können. Es sollte alles unternommen werden, um diese erfreuliche Entwicklung in der Praxis zu fördern. Dazu gehört neben der Weiterentwicklung der Grundlagen vor allem die Suche nach Methoden, die auf möglichst rationelle Weise zu dem gewünschten Ziel führen.

Aussagen über das Seeverhalten eines Schiffes liefern die Übertragungsfunktionen für die einzelnen Bewegungen, also das Verhältnis der Bewegungsamplitude zur Amplitude der Erregung in Abhängigkeit von der Frequenz. Kennt man diese, so kann man für beliebige Erregungen die Bewegungen bestimmen, vorausgesetzt, daß die Zusammenhänge linear sind. Für die Rollbewegung trifft diese Voraussetzung natürlich nicht zu. Bei der Tauch- und Stampfbewegung sind die nichtlinearen Einflüsse jedoch so gering, daß sie für die praktische Anwendung außer acht gelassen werden können.

In diesem Bericht wird versucht, die heute üblichen Verfahren zur Bestimmung der Übertragungsfunktionen bzw. damit erzielte Ergebnisse gegenüberzustellen. Als Beispiel wird dabei das Forschungsschiff "Meteor" gewählt. Dabei wird wie üblich von der Annahme eines zweidimmensionalen langkämmigen Seegangs ausgegangen, dessen Laufrichtung mit der Fahrtrichtung des Schiffes zusammenfällt, bzw. ihr entgegengerichtet ist.

2. Verfahren zur Bestimmung der Übertragungsfunktionen.

2.1. Theoretische Verfahren:

Die harmonische Stampf- und Tauchbewegung eines Schiffes genügt für kleine Amplituden - das ist die Voraussetzung für die Linearisierung - folgenden gekoppelten Differentialgleichungen:

$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz + d\ddot{\psi} + e\dot{\psi} + f\psi = \hat{P} \cdot \exp[i\omega_e t]$ = Erregende Kraft

$A\ddot{\psi} + B\dot{\psi} + C\psi + D\ddot{z} + E\dot{z} + Fz = M \cdot \exp[i\omega_e t]$ = Erregendes Moment

Hierin bedeuten:

$z = \hat{z} \cdot \exp[i\omega_e t]$ = Vertikalbewegung des Massenmittelpunktes

$\psi = \hat{\psi} \cdot \exp[i\omega_e t]$ = Drehbewegung um eine Querachse durch diesen Punkt

$\omega_e = \omega - \frac{v\omega^2}{g} = \sqrt{gK} - vK$ = Begegnungsfrequenz

K = Wellenzahl

v = Schiffsgeschwindigkeit

g = Erdbeschleunigung

Bezeichnet man die Wellenerhebung mit $\zeta = \hat{\zeta} \cdot \exp[i\omega_e t]$, so ist die Übertragungsfunktion definiert als das Verhältnis der komplexen Amplituden der Bewegung und der Erregung, z.B. für das Tauchen

$$Y_{z\zeta} = \frac{\hat{z}}{\hat{\zeta}} = Y_{z\zeta}(\omega_e)$$

Die gesuchten Größen der Bewegung $\hat{z}$ und $\hat{\psi}$ sind aus der obigen Differentialgleichung leicht zu bestimmen, wenn deren Koeffizienten a bis f und A bis F sowie $\hat{P}$ und $\hat{M}$ gegeben sind. Diese wiederum sind zu berechnen, wenn man alle auf das Schiff wirkenden Kräfte und Momente (hydrostatische, hydrodynamische und Trägheitskräfte bzw. -momente) kennt.

Die Schwierigkeit besteht nun in der Bestimmung der hydrodynamischen Kräfte. Da eine befriedigende drei-

dimensionale Theorie noch nicht bekannt ist, wird üblicherweise die Streifenmethode nach Korvin-Kroukovsky und Jacobs [1] und Watanabe [2] angewandt. Nach dieser Methode wird das Schiff in mehrere Scheiben parallel zur Spantebene aufgeteilt gedacht. Die Integration der an den einzelnen Scheiben auftretenden hydrodynamischen Kräfte über die Schiffslänge liefert die gesamte hydrodynamische Kraft. Die Fahrtgeschwindigkeit des Schiffes wird hierbei berücksichtigt. Vorteil dieser Streifenmethode ist, daß für die Berechnung der Einzelkräfte die zweidimensionale Theorie zugrundegelegt werden kann. Dafür sind mehrere Verfahren bekannt [3 bis 8], die von verschiedenen Ansätzen ausgehend zu gut übereinstimmenden Ergebnissen führen [9]. Strömungen in Längsschiffsrichtung und der Einfluß der Zähigkeit werden vernachlässigt.
Die Rechnungen können schnell und ohne großen Aufwand auf Digitalrechnern durchgeführt werden. Eingegeben werden die Spantflächen, -breiten und -tiefgänge und der Trägheitsradius der Länge nach sowie die zu untersuchenden Wellenlängen und Geschwindigkeiten; als Ergebnis liefert der Rechner die Übertragungsfunktionen nach Betrag und Phase in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Programme dieser Art existieren an verschiedenen Plätzen in der Welt.

2.2. Experimentelle Verfahren:

2.2.1. Modellversuche in regelmäßigen Wellen:

Der Modellversuch in regelmäßigen Wellen $\zeta(t) = \bar{\zeta} \cos \omega t$ stellt die älteste und vielleicht noch am häufigsten angewandte Methode zur Bestimmung der Übertragungsfunktionen dar. Sie weist den anderen bekannten Verfahren gegenüber wohl die meisten Nachteile auf. Als Hauptschwierigkeit erscheint die Erzeugung von wirklich

regelmäßigen Wellen konstanter Wellenamplitude. Hinzu kommt die Aufwendigkeit. Eine Fahrt mit dem Modell durch regelmäßige Wellen gibt einen Punkt der Übertragungsfunktion für eine bestimmte Froude-Zahl. Will man einen größeren Wellenlängen- und Geschwindigkeitsbereich untersuchen, so erfordert dies eine recht lange Zeit, denn die Zeit zwischen zwei Fahrten kann nicht beliebig kurz sein, da der beste Wellentilger die Wellen nicht völlig dämpft und so Reflektionen auftreten, die erst abklingen müssen. Mehr als drei bis vier Fahrten pro Stunde sind nicht zu erreichen, wenn die Ergebnisse noch Anspruch auf Bedeutung erheben sollen.
Der Anwendungsbereich dieser Methode wird jedoch die Bestimmung der Widerstands- und Leistungserhöhungen im Seegang bleiben, da hier die Umkehrbarkeit - Analyse von Frequenzgemischen und Synthese einzelner harmonischer Komponenten - nicht gegeben ist.

2.2.2. Modellversuche im unregelmäßigen Seegang mit Linienspektrum:

Der Zeitaufwand für Modellversuche in regelmäßigen Wellen wird wesentlich verringert, wenn man zu einem aus mehreren Komponenten zusammengesetzten Seegang

$$\zeta(t) = \sum_{1}^{N} \bar{\zeta}_n \cdot \cos(\omega_n t + \varepsilon_n)$$

übergeht. Mit einer Fahrt erhält man mehrere Punkte der Übertragungsfunktion. Dafür ist die Auswertung nicht mehr so einfach, da hier eine harmonische Analyse durchgeführt werden muß. Die Zahl der Komponenten ist dadurch begrenzt, daß die einzelnen Amplituden $\bar{\zeta}_n$ nicht beliebig klein werden und die Summe aller Amplituden $\bar{\zeta}_n$ einen gewissen Wert nicht überschreiten dürfen. Die Mindestmeßzeit muß gleich dem kleinsten gemeinschaftlichen Vielfachen der Perioden der einzelnen Komponenten

sein. Da der interessierende Frequenzbereich begrenzt und, wie erwähnt, die Zahl der Komponenten klein ist, treten dadurch keine Probleme auf.
Bei dieser Methode stellt sich jedoch schon die Frage nach der Art der Registrierung. Je Fahrt sind drei Fourieranalysen - für Seegang, Tauchen und Stampfen - durchzuführen. Die herkömmliche Registrierung auf Papier und manuelle Auswertung erfordern auch dann einen gewissen Personal- und Zeitbedarf, wenn die Durchführung der Fourieranalyse dem Digitalrechner überlassen wird. Da das digitale Messen mit einer on-line-Auswertung, ein Verfahren, dem zweifellos die Zukunft gehört,aus Mangel an Einrichtungen noch nicht praktikabel ist, bleibt für den on-line-Betrieb eine Auswertung auf einem Analogrechner oder eine Speicherung in elektrischer Form, also das analoge Magnetband. Ein Analogrechner, der für drei Funktionen für je mehrere Frequenzen die Fourierkoeffizienten gleichzeitig bestimmen soll, muß schon ein beträchtliches Ausmaß aufweisen. Ein normaler Tischanalogrechner bewältigt diese Aufgabe nicht. Am sinnvollsten und rationellsten erscheint daher die analoge Registrierung auf Magnetband und spätere Digitalisierung (off-line).

2.2.3. Modellversuche in unregelmäßigem Seegang mit kontinuierlichem Spektrum:

Eine Möglichkeit, den gesamten interessierenden Wellenlängenbereich mit einer Fahrt zu erfassen, und zwar mit einem kontinuierlichen Spektrum, haben Davis und Zarnick [11] aufgezeigt. Die Schwierigkeit von Versuchen in Seegängen mit kontinuierlichem Spektrum lagen bis dahin in der Meßzeit.
Liegt ein kontinuierliches Spektrum vor, so geht die Fouriersumme

$$\zeta(t) = \sum_{1}^{N} \bar{\zeta}_n \cos(\omega_n t + \varepsilon_n)$$

über in das Fourierintegral

$$\zeta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} A(f) \cdot \exp\left[i\omega t\right] \cdot df.$$

Das Amplitudenspektrum ergibt sich daraus zu

$$A(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \zeta(t) \cdot \exp\left[-i\omega t\right] \cdot dt.$$

Die Integrationsgrenzen liegen im Unendlichen, d.h. die Meßzeit zur Bestimmung des Amplitudenspektrums müßte unendlich lang sein. Kürzere Integrationszeiten bringen beträchtliche Fehler.

Dieses Problem wird bei der sogenannten Impulsmethode von Davis-Zarnick dadurch umgangen, daß die Funktionswerte $\zeta(t)$ für $t<0$ und $t>T_i$ gleich Null werden und der Wert des Integrals nicht verfälscht wird, wenn man berechnet

$$A(f) = \int_{0}^{T_i} \zeta(t) \cdot \exp\left[-i\omega t\right] \cdot dt.$$

Das erreicht man durch die Erzeugung eines Seegangs, der möglichst nur einen Wellenzug, einen Impuls, enthält (Abb.1). Das Modell fährt zunächst in glattem Wasser, wird in dem Wellenzug zu Bewegungen angeregt, die schnell abklingen, wenn das Modell wieder glattes Wasser antrifft.

Die Auswertung kann dabei, wie von Davis und Zarnick vorgeschlagen, auf einem Analogrechner erfolgen oder aber digital durchgeführt werden. Auf jeden Fall sollte hier eine halbautomatische oder automatische Datenerfassungsmethode zum Einsatz kommen.

Die Methode ist bestechend, es stellt sich aber die Frage der Genauigkeit. Die Amplituden der einzelnen Teilwellen müssen, da unendlich viele in dem Wellenzug enthalten sind, die Welle aber nur eine endliche geringe Höhe hat, sehr klein sein, so daß Meß- und Auswertefehler von absolut geringer Größe relativ große Abweichungen bringen können. Vielleicht sind

diese Befürchtungen unberechtigt, aber da kaum Ergebnisse bekannt sind, die auf diese Weise erzielt wurden, ist ein abschließendes Urteil nicht möglich.

2.2.4. Großversuche:

Ein Großversuch muß immer in natürlichem Seegang stattfinden. Deshalb und bedingt durch die Tatsache, daß ein Niveau fehlt, von dem aus gemessen werden kann, ist ein Großversuch immer aufwendig und mit gewissen Fehlern behaftet. Zur Durchführung eines solchen Versuches, mit dem die Theorie überprüft oder Maßstabseffekte beim Modellversuch geklärt werden können, muß zunächst ein Wellenmeßgerät vorhanden sein, daß die Wellen nach Höhe und Richtung mit genügender Genauigkeit erfaßt, denn dafür wird man ein zweidimensionales Spektrum aufstellen müssen. Die Bewegungen des Schiffes müssen mit gleicher Genauigkeit gemessen werden können, was einige Probleme aufwirft.
Sind diese Voraussetzungen erfüllt, so bedarf es noch eines geeigneten Seegangs, der hoch genug sein muß, um Bewegungen zu erzeugen, aber nicht so stark sein darf, daß die Wellen brechen. Da der Seegang normalerweise nicht am Ort des Schiffes, sondern in einiger Entfernung gemessen wird, muß der Seegang auch noch stationär sein, da andernfalls das Spektrum am Ort der Wellenmessung ein anderes ist als am Ort des Schiffes. Hierzu gehören viel Zeit und Geduld.

3. Untersuchungen am Forschungsschiff "Meteor".

3.1. Modellversuche:

Mit dem Modell des Forschungsschiffes im Maßstab 1:14 wurden im großen Tank der HSVA sehr ausführliche Modellversuche im Seegang durchgeführt.
Linien und Hauptabmessungen des Modells ergeben sich aus Abb.2. Das Modell war mit allen Anhängen und Öffnun-

gen versehen, die die Großausführung aufweist, z.B. Aktivruder, Bugstrahlruder, Echolotbalkon etc.
Untersucht wurde der Tiefgang von 5,10 m, bei dem sich eine Länge in der Wasserlinie von 77,70 m ergibt. Da das Längenträgheitsmoment eines Schiffes in den seltensten Fällen bekannt ist, hat es sich eingebürgert, mit einem mittleren Wert zu rechnen. Hier wurde das Modell auf ein Trägheitsmoment eingetrimmt, das dem Trägheitsmoment des verdrängten Wassers vermehrt um 10% entspricht. Daraus ergibt sich ein Verhältnis Trägheitsradius-Länge zwischen den Loten von $i/L = 0{,}228$.
Das Modell fuhr frei und war nur durch zwei Zugdrähte geführt (Abb.3), so daß es in seinen Bewegungen nicht gehemmt war. Die Vertikalbewegung von Bug und Heck wurden gegenüber dem Meßwagen mit je einem Präzisions-Drehpotentiometer bestimmt, das über eine am Modell drehbar gelagerte Aluminiummeßstange betätigt wurde.
Zur Wellenmessung diente die Ultraschallsonde der HSVA, die sich ungefähr 4 m vor dem Modell befand. Versuche mit einer neuentwickelten Schwertsonde, von der mehrere Exemplare an verschiedenen Stellen des Tanks angebracht waren, um eine etwaige Änderung des Spektrums über der Tankfläche festzustellen, scheiterten an Empfindlichkeitsschwankungen der Sonde. (Diese Entwicklung ist auch inzwischen aufgegeben worden, da nun eine gutfunktionierende Sonde existiert.)
Registriert wurde auf einem 14-Kanal-Meßmagnetband, damit die Meßwerte nicht manuell verarbeitet werden mußten.
Das Programm umfaßt folgende Versuche:

a) regelmäßige Wellen:
   λ/L : 0,96; 1,15; 1,35; 1,54
   λ/h : 30; 40

b) unregelmäßige Wellen aus drei Komponenten
   Scheibenpaar 4 λ/L : 0,89; 0,99; 1,11
   Scheibenpaar 5 λ/L : 1,02; 1,15; 1,30
   Scheibenpaar 6 λ/L : 1,46; 1,70; 2,00

c) Impuls-Seegang

Kleinste Wellenlänge $\lambda/L = 0,47$

Größte Wellenlänge $\lambda/L = 3,33$

Dabei wurden jeweils sechs Geschwindigkeiten gefahren, die den Froude-Zahlen 0,052; 0,095; 0,135; 0,163; 0,190; 0,218 entsprachen.

Abb.4 bis 6 zeigen als Beispiel vom Magnetband abgespielte Ausschnitte der Messungen in regelmäßigen Wellen, in 3-Komponenten-Seegang und in Impuls-Seegang.

Das Modell in drei verschiedenen Phasen ist auf den Abb. 7a bis c zu sehen.

Der Tauchkörper-Wellenerzeuger der HSVA wird durch zwei Nockenscheiben gesteuert, von denen eine die Tauchfrequenz, die andere die Tauchamplitude bestimmt. Der Verlauf der Frequenz bzw. der Amplitude ist für den 3-Komponenten-Seegang in Abb.8 und für den Impuls-Seegang in Abb.9 dargestellt.

Die Auswertungen der Modellversuche wurden auf verschiedene Arten durchgeführt.

Die Tauch- und Stampfbewegungen in regelmäßigen Wellen wurden aus den Bewegungen von Heck und Bug mit Hilfe des Analogrechners RAT 700 des Instituts für Schiffbau berechnet, auf einem Kompensationsschreiber aufgezeichnet und manuell ausgewertet.

Die Ergebnisse der Versuche in unregelmäßigem Seegang wurden vom Magnetband abgespielt, digitalisiert, in Lochstreifen gestanzt und im Digitalrechner verarbeitet, für den 3-Komponenten-Seegang auf der TR4 mit am Institut für Schiffbau entstandenen Programmen, für den Impuls-Seegang auf der Z31 der HSVA. Für den Impul-Seegang wurde auch die von Davis-Zarnick vorgeschlagene analoge Auswertung mit Suchkreisen (Abb.10) angewandt, wegen des geringeren Aufwandes wurde jedoch die digitale Methode bevorzugt.

3.2. Rechnungen:

Die theoretischen Werte für die Übertragungsfunktionen

wurden mit dem am Institut für Schiffbau vorhandenen Rechenprogramm auf der TR4 der Universität Hamburg durchgeführt. Dem Rechenprogramm liegen die Ansätze für die hydrodynamischen Kräfte von Grim [5,6] zugrunde. Die Kräfte werden für jeweils 10 Spantquerschnitte bestimmt und nach der Trapezregel über die Schiffslänge integriert. Eingabedaten sind die Spantbreiten, -tiefgänge und -flächen, die Schiffslänge und der Trägheitsradius.
Gerechnet wurde mit dem gleichen Tiefgang (5,10 m) und Trägheitsradius (i/L = 0,228) wie beim Modellversuch.

3.3. Großversuche:

Messungen der Schiffsbewegungen auf der "Meteor" wurden auf der Grönlandreise im August-September 1966 durchgeführt. Gleichzeitig wurden von Dr. Walden und Dr. Richter vom Seewetteramt Hamburg Seegangsmessungen mit einer Roll-Pitch-Buoy durchgeführt, so daß die jeweiligen Richtungsspektren berechnet werden können. Das recht umfangreiche Material über diese Schiffsbewegungsmessungen ist aus Termingründen bisher nicht ausgewertet. Die Mitteilung der Ergebnisse muß daher leider einem späteren Bericht vorbehalten bleiben.

3.4. Gegenüberstellung der Ergebnisse:

In Abb. 11 sind die Ergebnisse der theoretischen Rechnungen dargestellt.
In den Abb.12 bis 17 sind sie den experimentell ermittelten Werten gegenübergestellt. In diese Diagramme sind fast alle Meßpunkte aufgenommen, nur völlig herausfallende Werte wurden nicht berücksichtigt. Solche Werte nun waren, wie die Abbildungen zeigen, bei der Impulsmethode recht zahlreich. Es waren praktisch nur die Hälfte der ausgewerteten Punkte bei dieser Methode brauchbar. Es soll damit kein abschließendes Urteil über diese Methode gefällt werden. Der Verfasser hatte keine Er-

fahrung mit diesem Verfahren, und dabei erfordert keine andere Methode solche Erfahrung wie die von Davis-Zarnick. Es ist sehr von dem Geschick des Experimentators abhängig, ob diese Methode zum Ziel führt. Ob man dies als Nachteil werten soll, sei hier offengelassen.
Bei der Erzeugung des sogenannten 3-Komponenten-Seegangs zeigte sich, daß der Wellenerzeuger einen 5-Komponenten-Seegang erzeugte, da außer den gewünschten Frequenzen im Spektrum noch je eine Komponente mit einer größeren und einer kleineren Frequenz auftrat, die sowohl im Seegang als auch in den Bewegungen zu finden war, also existent war. Durch welche Effekte sie am Tauchkörper entstand, ist nicht geklärt worden, da es im Moment nicht interessierte.
Alle Diagramme zeigen, die einen mehr, die anderen weniger, daß die Streuungen in den Modellversuchen - und diese Versuche sind sehr akkurat durchgeführt worden - beträchtlich sind, zumindest nicht geringer als etwaige Ungenauigkeiten durch Vereinfachungen in der Theorie. Bei gleicher Güte entscheidet der Aufwand. Und hier stehen 15 Minuten Rechenzeit drei Versuchstagen gegenüber.

4. Zusammenfassung

In dem vorliegenden Bericht wurde versucht, anhand von Untersuchungen am Forschungsschiff "Meteor" die gebräuchlichen Verfahren zur Bestimmung der Übertragungsfunktionen für Tauchen und Stampfen in längslaufender See kurz zu beleuchten. Der Vergleich zeigt einmal mehr, daß für dieses spezielle Problem die Rechenmaschine bzw. die damit auszuwertende Theorie dem Tank zumindest ebenbürtig ist.
Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat die Modellversuche durch eine Sachbeihilfe ermöglicht. Dafür

sei ihr an dieser Stelle gedankt. Dank gebührt weiter den Herren Schulze und Thiemann vom Institut für Schiffbau und Herrn Dr. Sharma von der HSVA. Herr Schulze hat die Programmscheiben für die Erzeugung des 3-Komponenten-Seegangs entwickelt und auch die Auswertung der Versuche damit durchgeführt. Herr Thiemann hat den Verfasser wie immer tatkräftig bei der Durchführung des Vorhabens unterstützt. Herr Dr. Sharma hat die Berechnung der Fouriertransformierten bei der Impulsmethode auf der Z31 mit einem eigenen Programm durchgeführt.

5. Nomenklatur

f	Frequenz
h	Wellenhöhe
i	Massenträgheitsradius
k	Wellenzahl
t	Zeit
v	Geschwindigkeit
z	Tauchbewegung
Fr	Froude-Zahl
$L_{pp}=L$	Länge zwischen den Loten
Y	Übertragungsfunktion
Z,A,Ψ	Fouriertransformierte von z usw.
ε	Phasenwinkel
ζ	Wellenerhebung
ϑ	Wellenschräge
λ	Wellenlänge
ψ	Stampfwinkel
ω	Kreisfrequenz
ω_e	Begegnungskreisfrequenz

6. Literatur

[1] Korvin-Kroukovsky, B.V. and W.R. Jacobs:
Pitching and Heaving Motions of a Ship in Regular Waves.
Trans. SNAME, vol.65 (1957).

[2] Watanabe, Y.: On the Theory of Pitch and Heave of a Ship.
Techn. Rep. Kyushu University, vol.31, No.1,1958.

[3] Ursell, F.: On the Heaving Motion of a Circular Cylinder on the Surface of a Fluid.
Quat. Journ. Mech. Appl. Math. 2 (1949) S.218.

[4] Porter, W.R.: Pressure Distributions, Added Mass and Damping Coefficients for Cylinders Oscillating in a Free Surface.
Univ.California, Inst.Eng.Res.,Ser.No.82, No.16 1960.

[5] Grim, O.: Berechnung der durch Schwingungen eines Schiffskörpers erzeugten hydrodynamischen Kräfte.
Jahrb. STG, Bd.47 (1953).

[6] Grim, O.: A Method for a More Precise Computation of Heaving and Pitching Motions Boøth in Smooth Water and in Waves.
3rd Symp. Nav. Hydrodyn. Scheveningen, 1960.

[7] Tasai, F.: On the Damping Force and Added Mass of Ships Heaving and Pitching.
Rep.Res.Inst.Appl.Mech., Kyushu University, vol.VII, No.26, 1959.

[8] Tasai, F.: Measurement of the Wave Height Produced by the Forced Heaving of the Cylinders.
Rep.Res.Inst.Appl.Mech., Kyushu University, vol.VIII, No.29, 1960.

[9] International Towing Tank Conference (ITTC), 11th Conference, Tokyo 1966, Rep. Seakeeping Committee.

[10] Gerritsma, J. and W. Beukelmann: The Distribution of the Hydrodynamic Forces on a Heaving and Pitching Ship in Still Water.
Techn. University Delft, Publication No.22,1964.

[11] Davis, M.C. and E.E. Zarnick: Testing Ship Models in Transient Waves.
5th Symp. Nav. Hydrodyn., Bergen, 1964.

[12] Sukselainen, I.J.: Seegangsversuche in unregelmäßigem Seegang.
HSVA-Bericht F 2/65 (1965)

[13] Grim, O.: Die Bewegungen und Belastungen des Schiffes im Seegang.
Jahrbuch STG, Bd.61, (1967) und
IfS-Bericht Nr. 182, 1967.

[14] Keil, H.: Untersuchungen über das Verhalten von Schiffen im Seegang. Erprobung einer Meßeinrichtung auf dem Forschungsschiff "Meteor".
Jahrbuch STG, Bd.59 (1965), S.378.

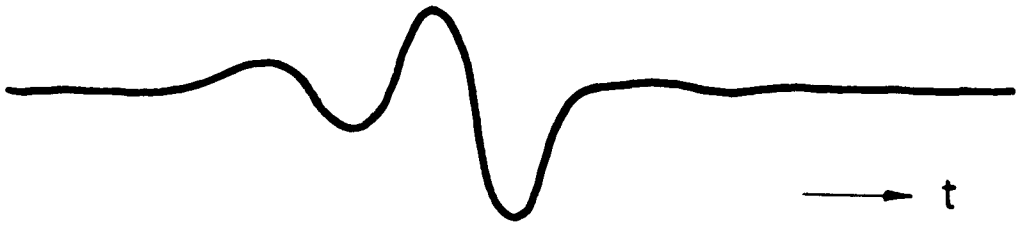
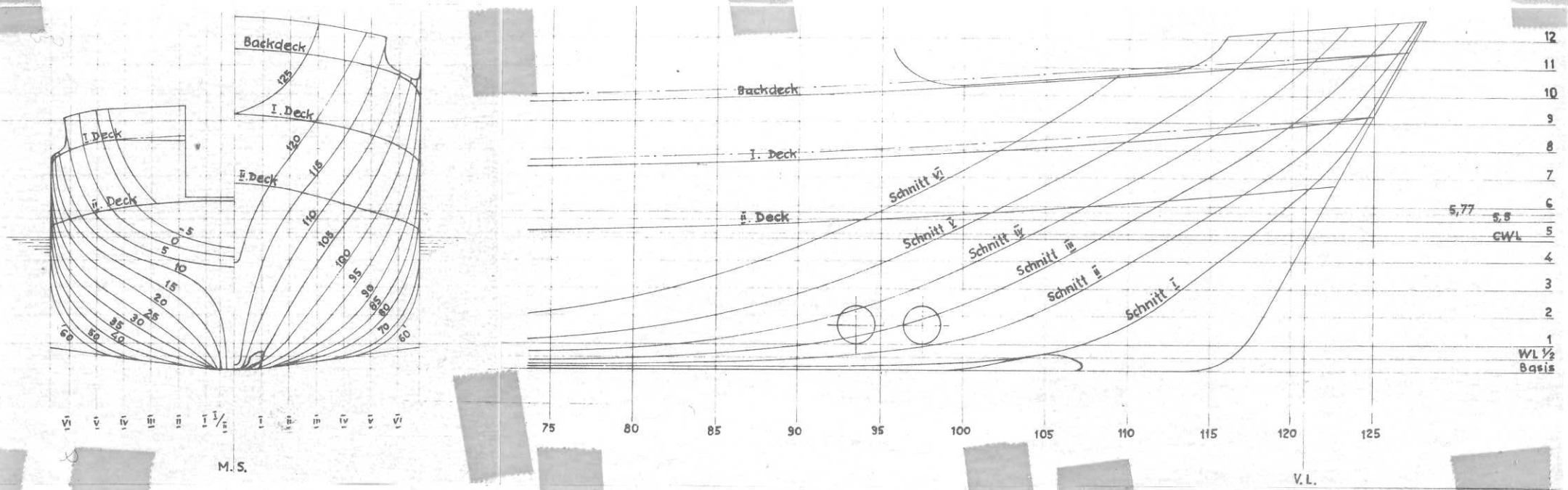
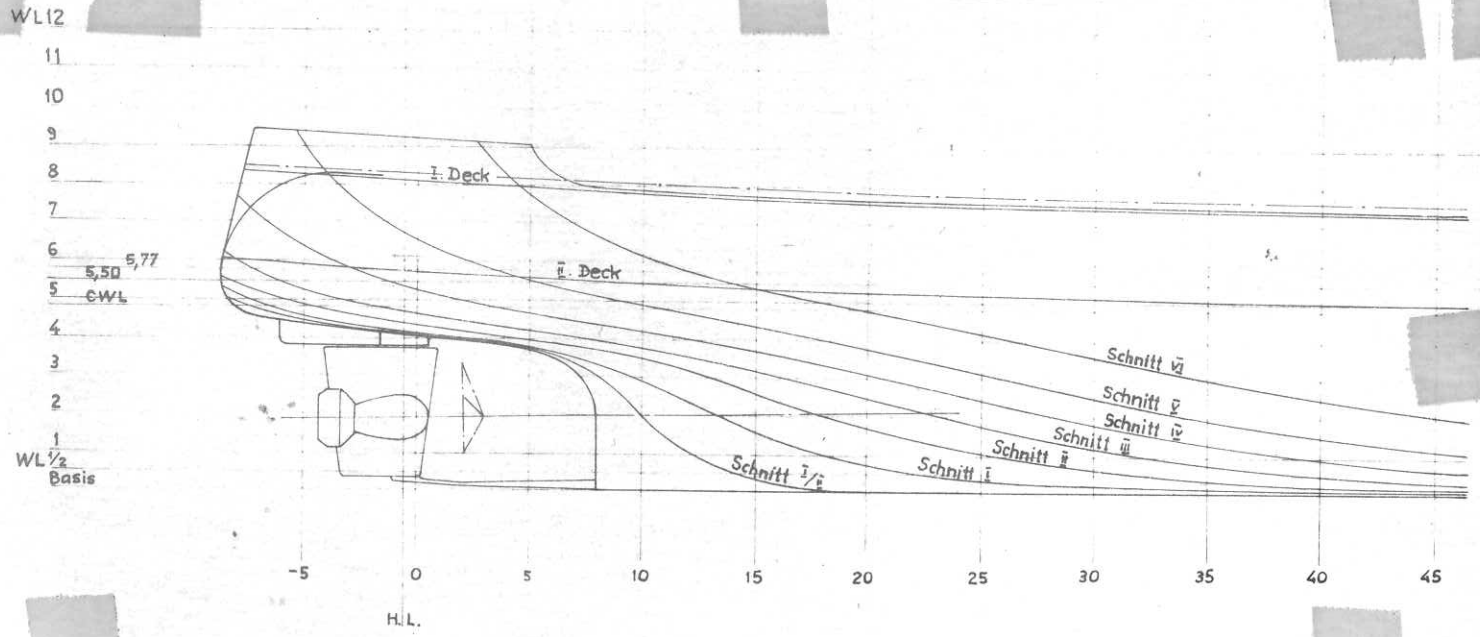


Abb. 1





Forschungsschiff „Meteor"

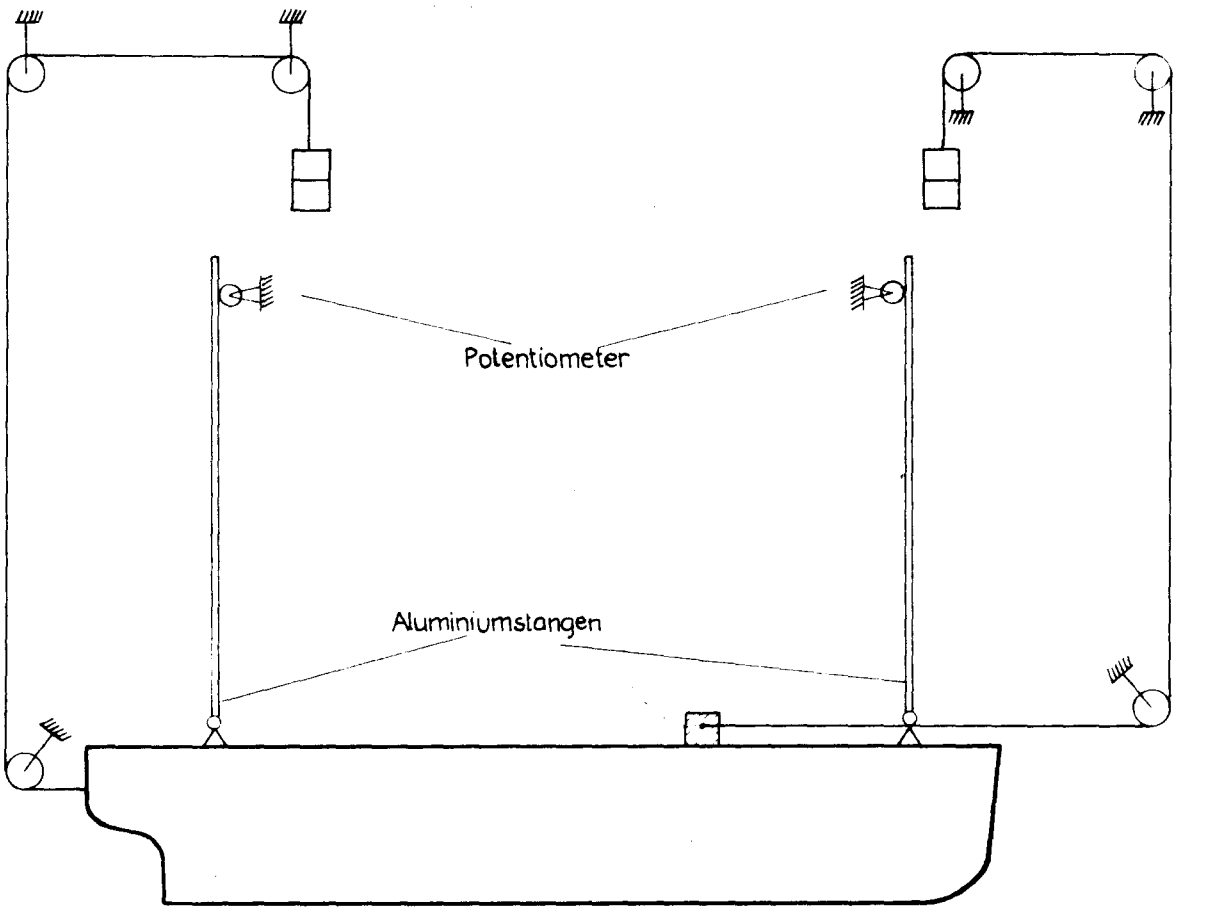
Linienriß

M 1:200

Hauptabmessungen

Länge über Alles	82,10 m
Länge zw. d. Loten	72,80 m
Breite auf Spanten	13,50 m
Konstruktionstiefgang	4,80 m
Aufkimmung	0,80 m
Kimmradius	3,00 m
Flachkielbreite	1,10 m
Spantabstand durchlaufend 600 mm	

Abb. 2



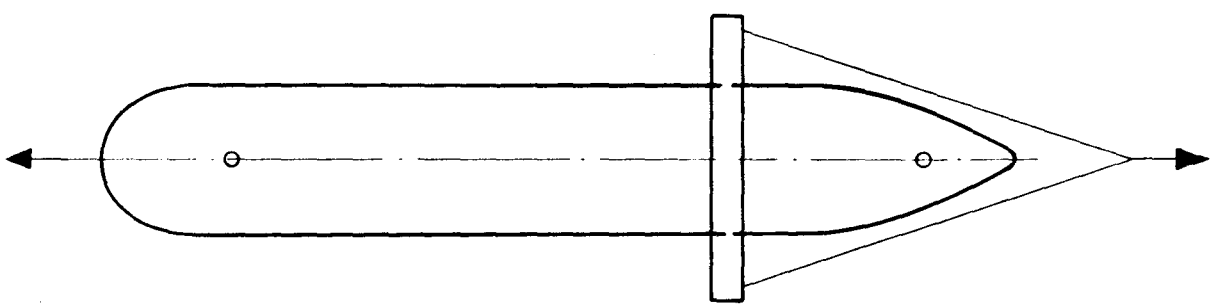


Abb. 3

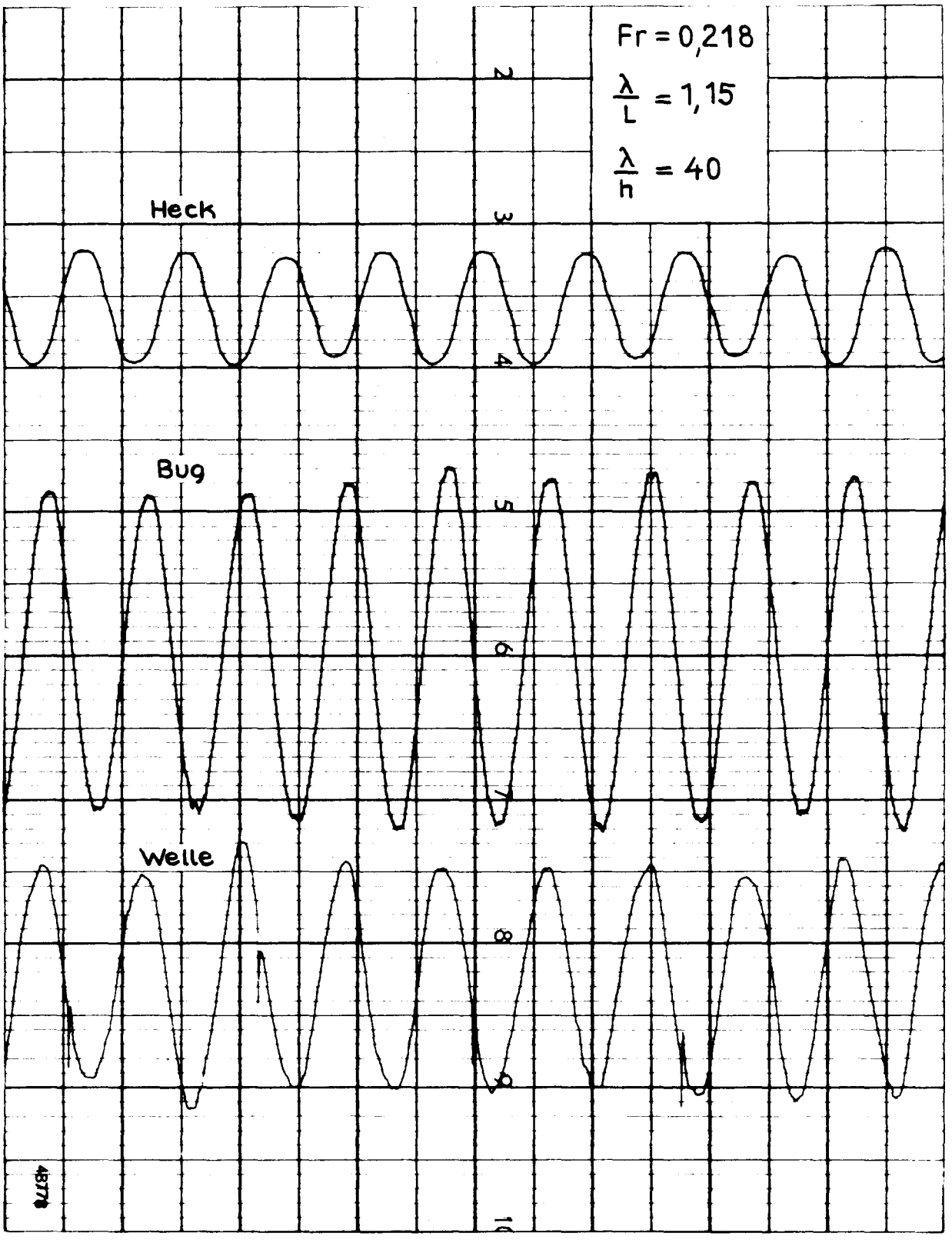


Abb. 4

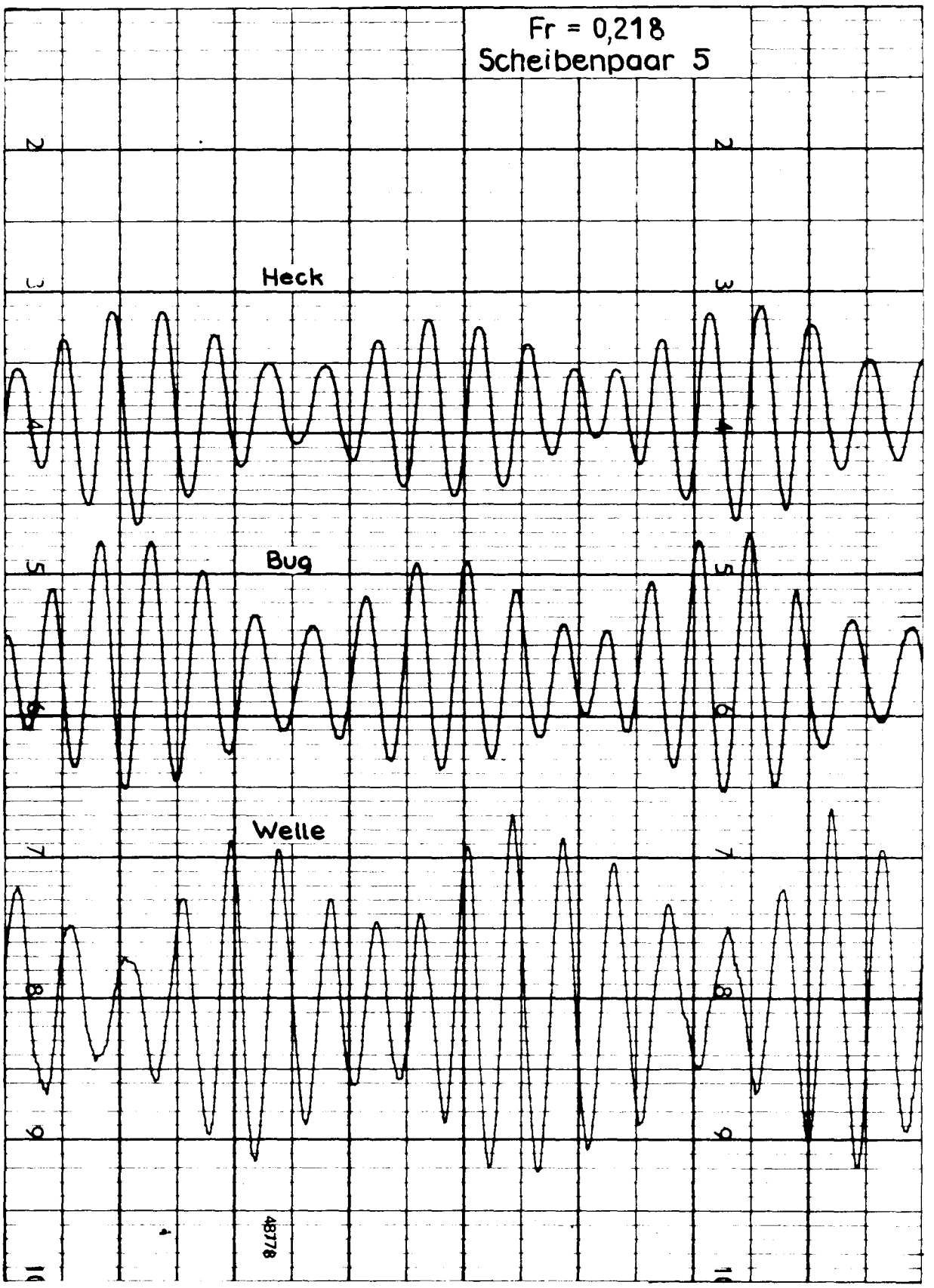


Abb. 5

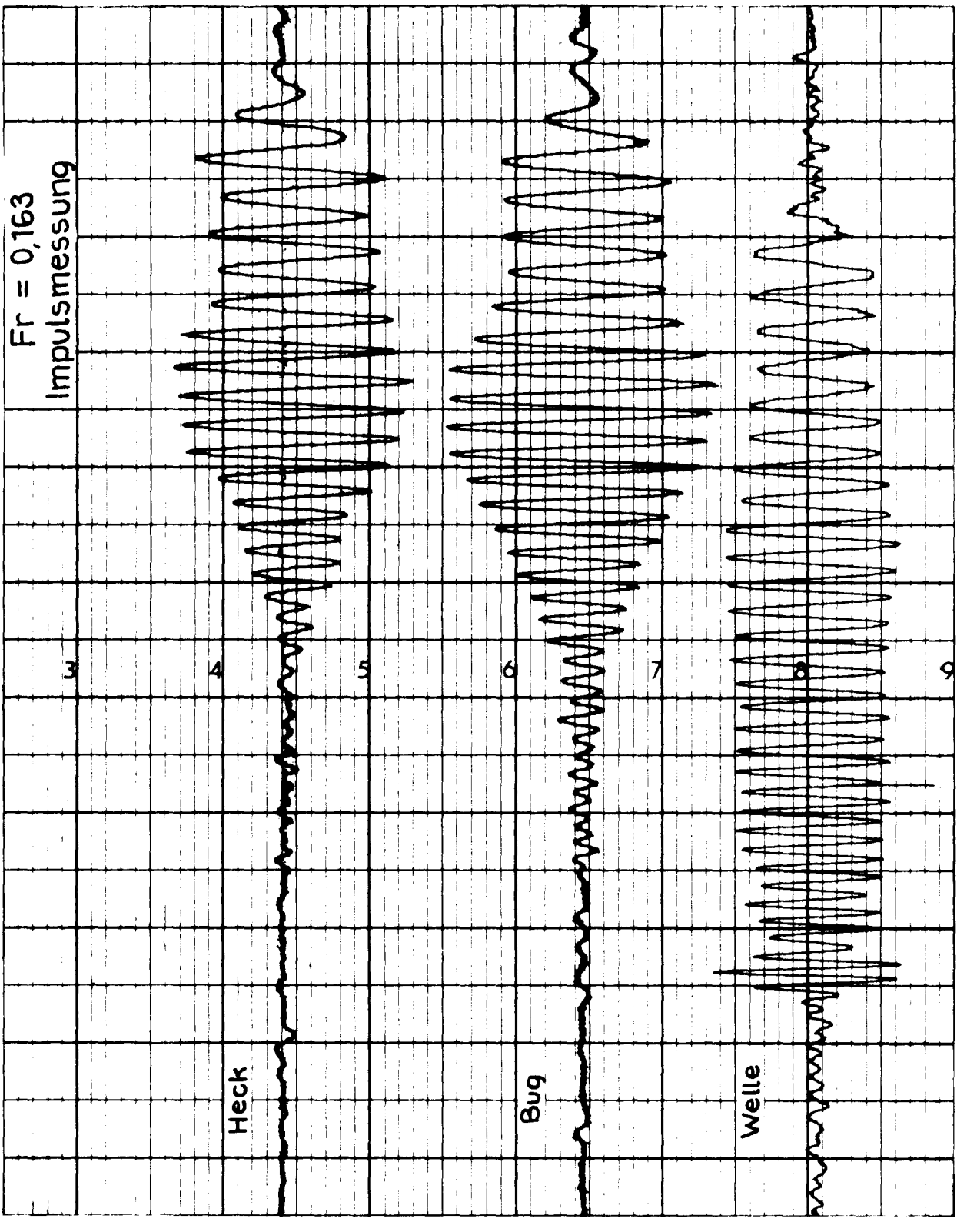
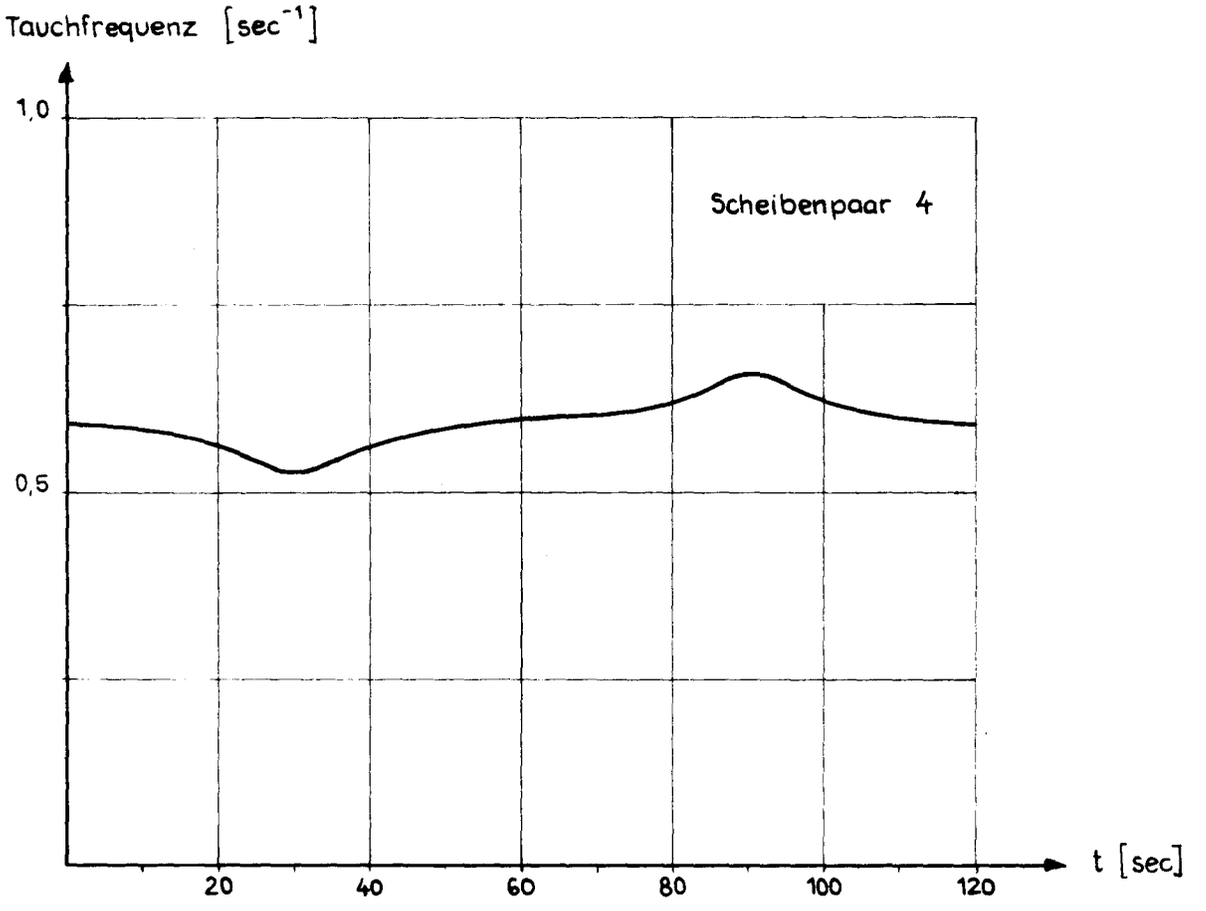


Abb. 6

Abb. 7a - c


Tauchfrequenz [sec⁻¹]
1,0
0,5
Scheibenpaar 4
20
40
60
80
100
120
t [sec]

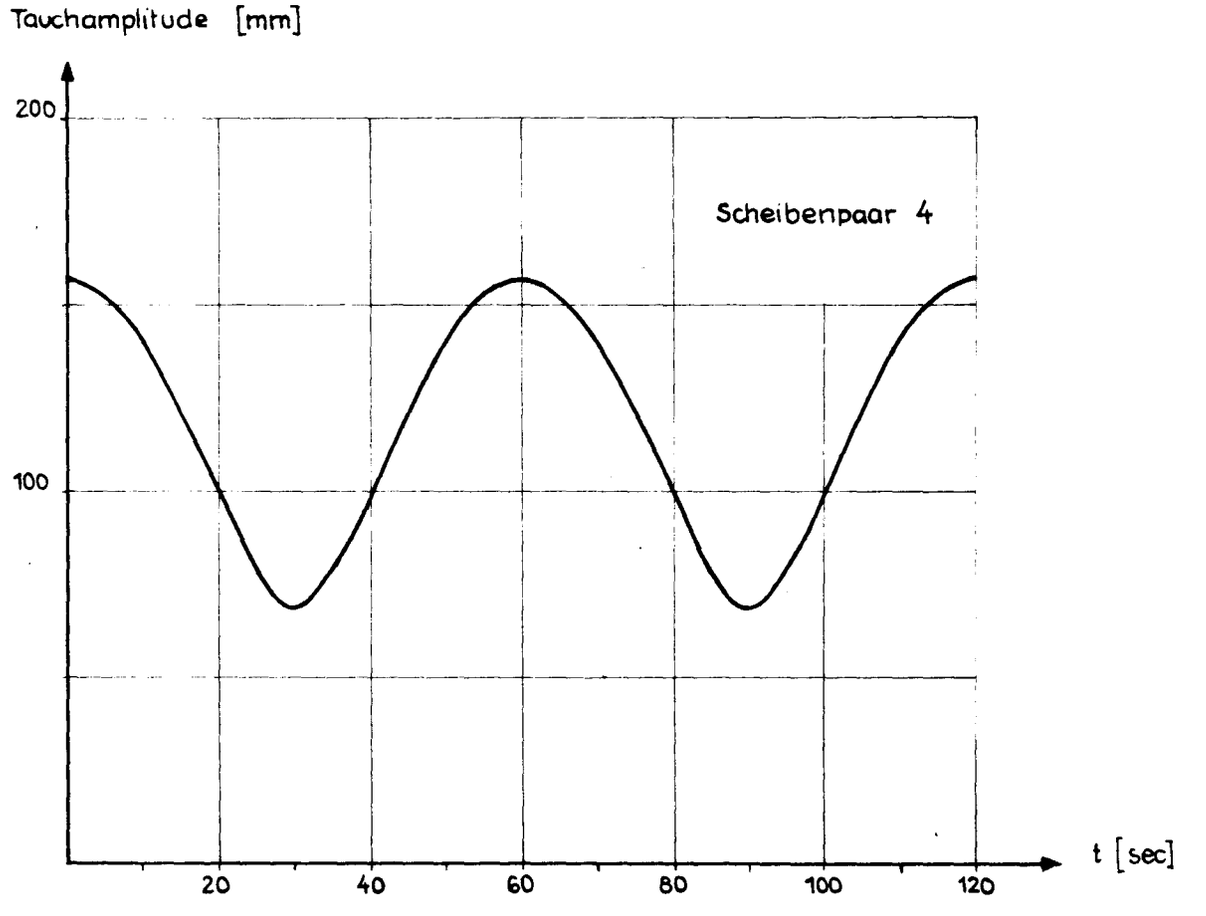
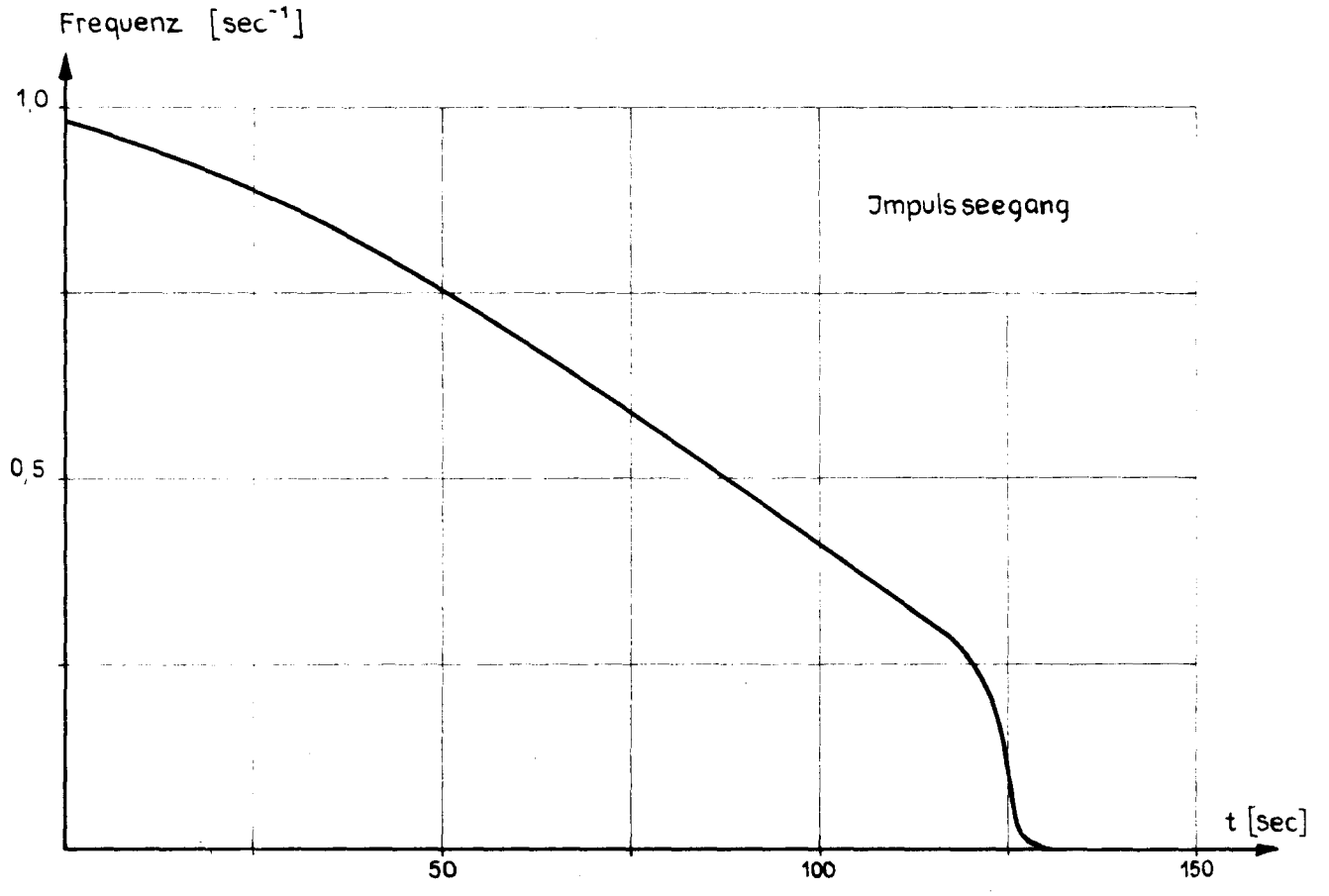

Tauchamplitude [mm]
200
100
Scheibenpaar 4
20
40
60
80
100
120
t [sec]

Abb. 8


Frequenz [sec⁻¹]
1,0
0,5
Impulsseegang
t [sec]
50
100
150

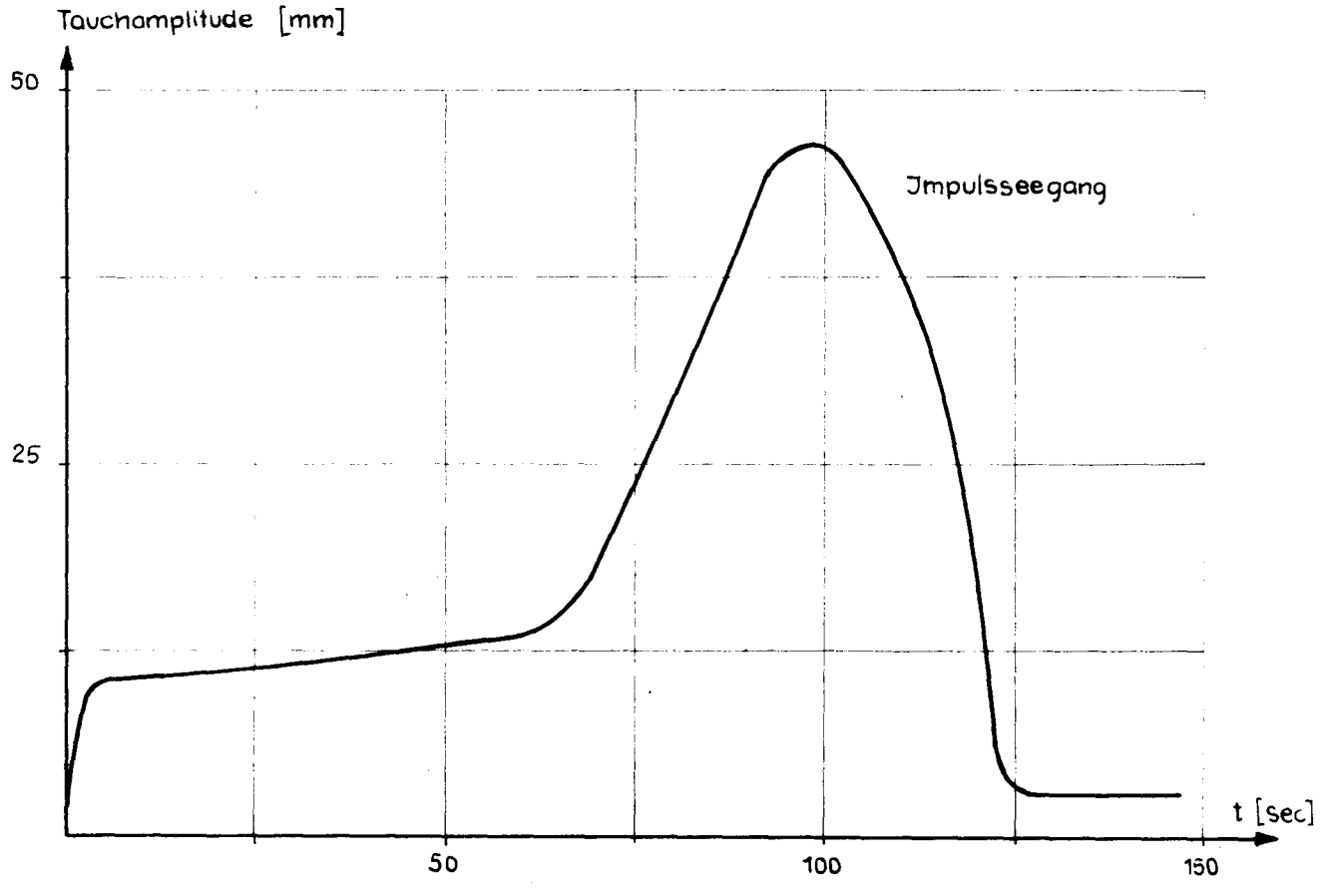

Tauchamplitude [mm]
50
25
Impulsseegang
t [sec]
50
100
150

Abb. 9

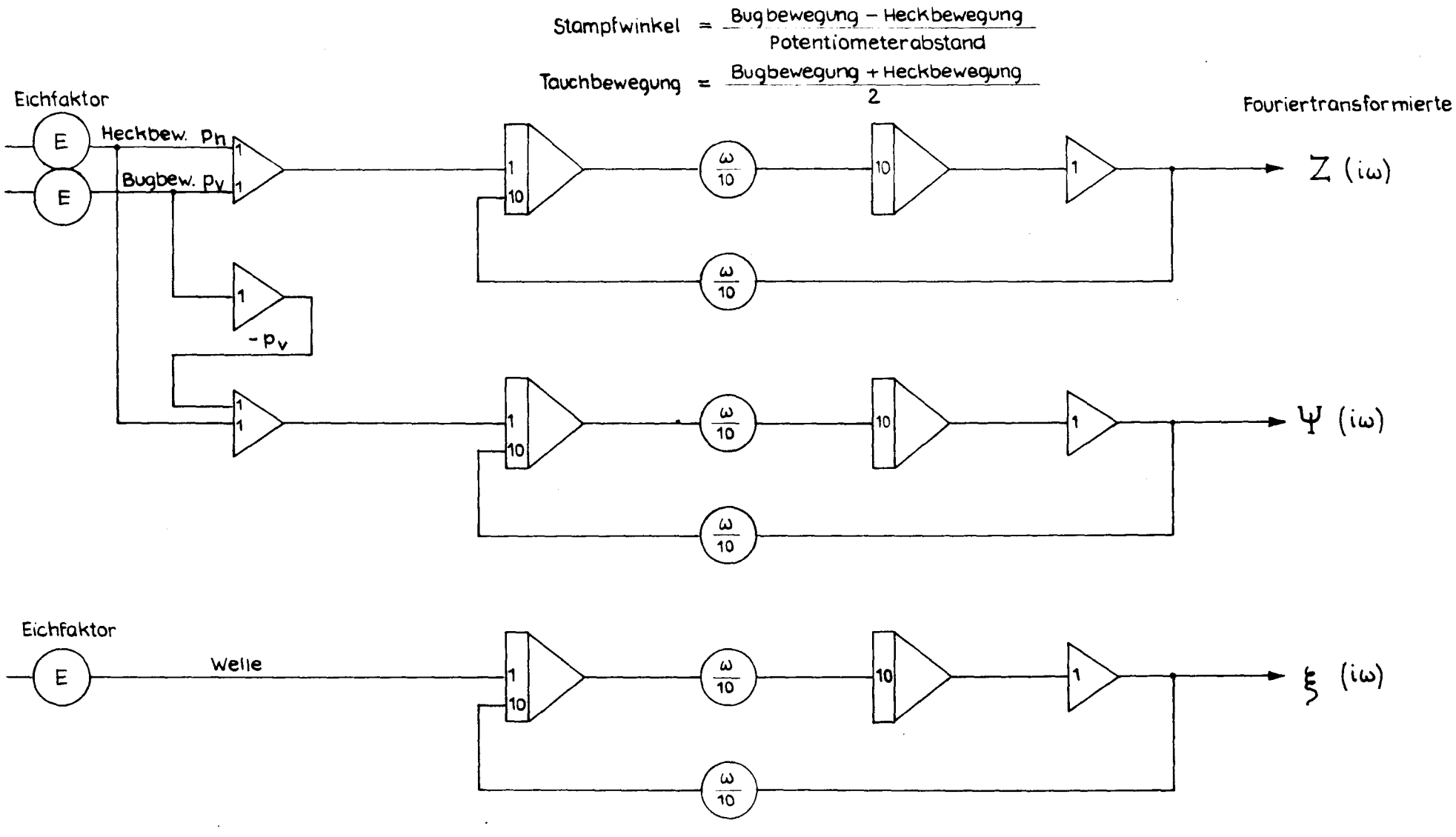
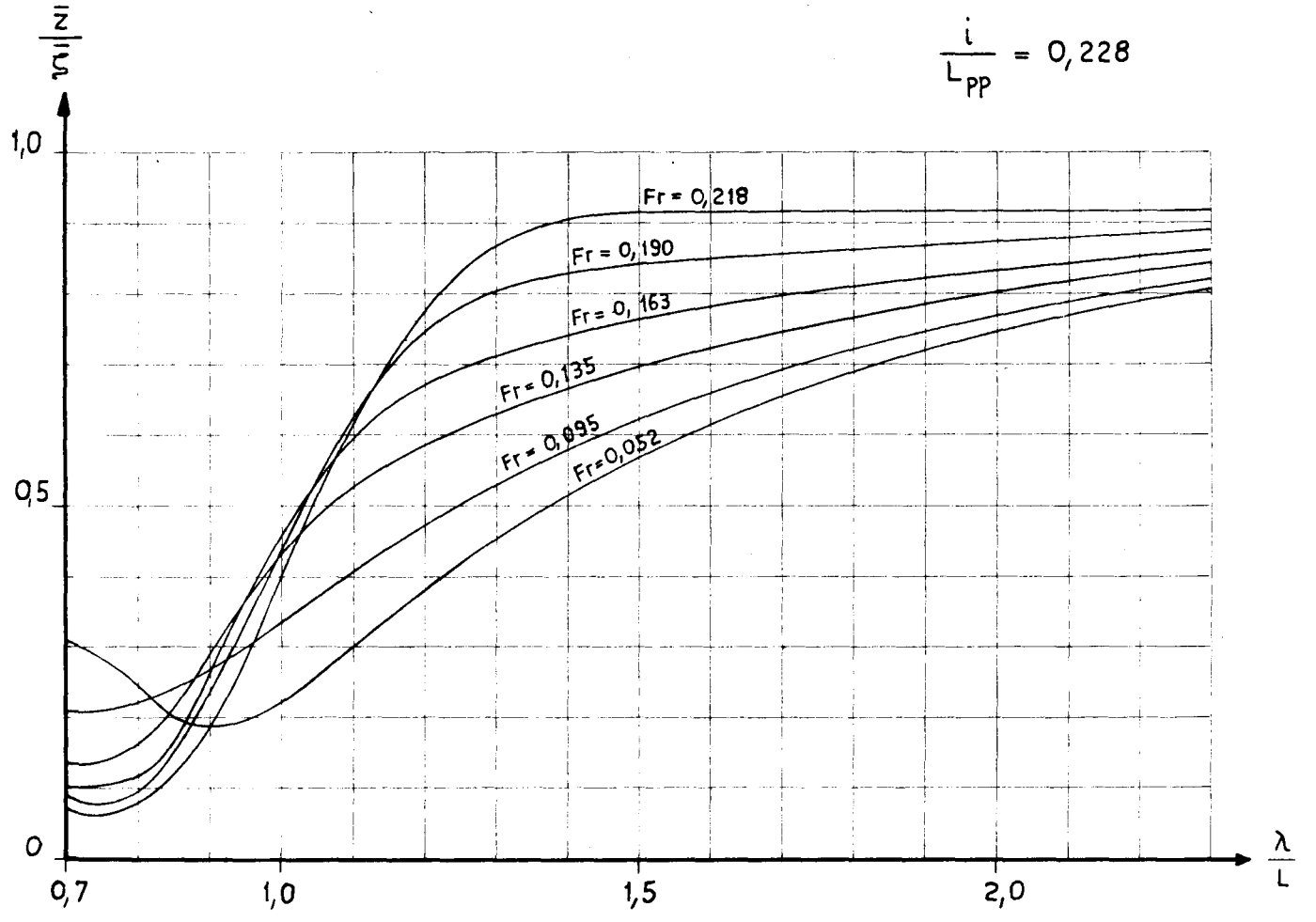

Stampfwinkel = Bugbewegung − Heckbewegung / Potentiometerabstand
Tauchbewegung = Bugbewegung + Heckbewegung / 2
Eichfaktor
E
E
Heckbew. p_h
Bugbew. p_v
1
1
1
10
$\frac{\omega}{10}$
10
1
$Z\ (i\omega)$
Fouriertransformierte
$-p_v$
$\Psi\ (i\omega)$
Eichfaktor
E
Welle
$\xi\ (i\omega)$

Abb. 10


$\frac{\bar{z}}{\zeta_i}$
$\frac{i}{L_{PP}} = 0,228$
1,0
0,5
0
Fr = 0,218
Fr = 0,190
Fr = 0,163
Fr = 0,135
Fr = 0,095
Fr=0,052
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$

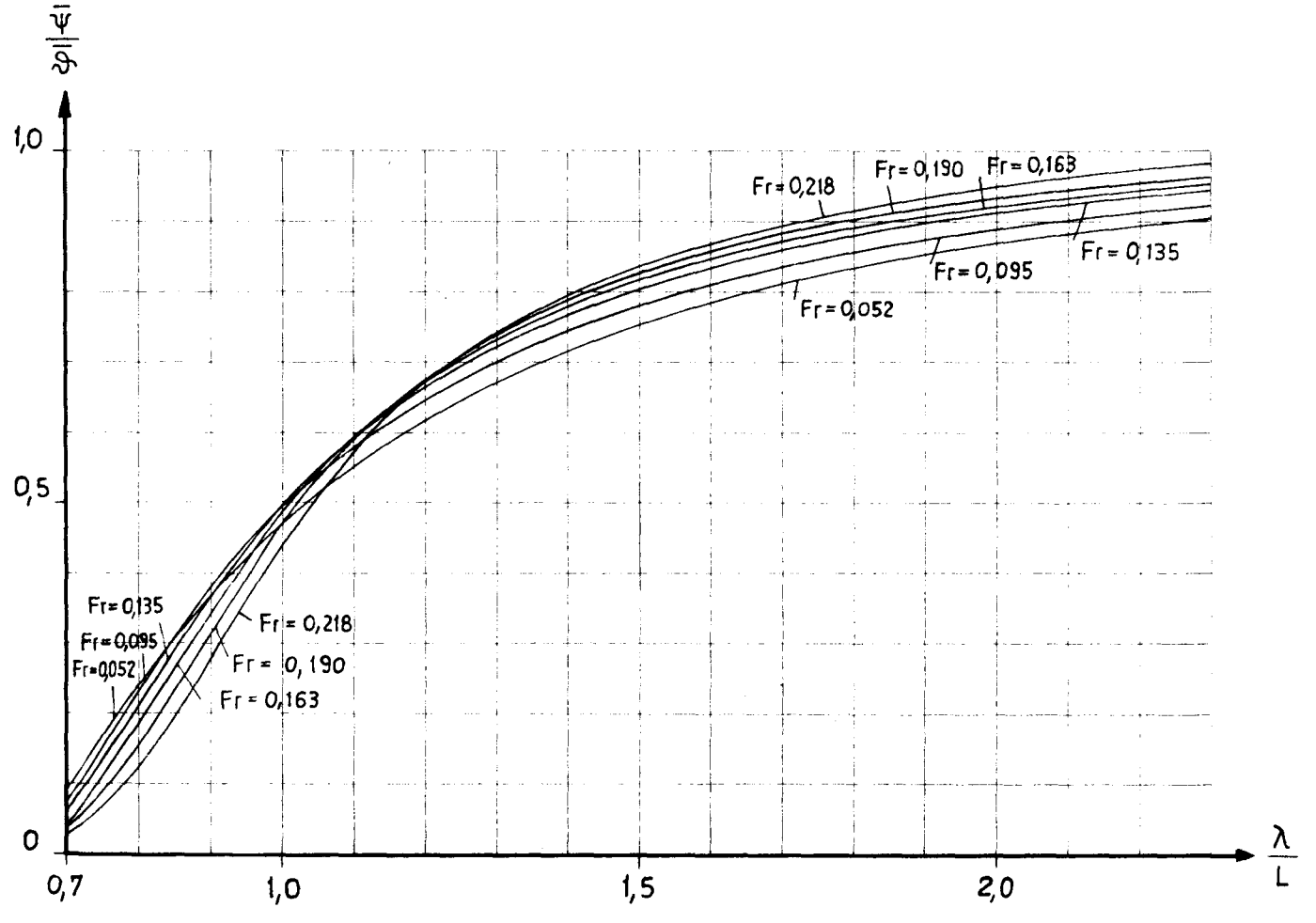

$\frac{\bar{\psi}}{\varphi_i}$
1,0
0,5
0
Fr=0,218
Fr=0,190
Fr=0,163
Fr=0,135
Fr=0,095
Fr=0,052
Fr=0,135
Fr=0,095
Fr=0,052
Fr = 0,218
Fr = 0,190
Fr = 0,163
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$

Abb. 11

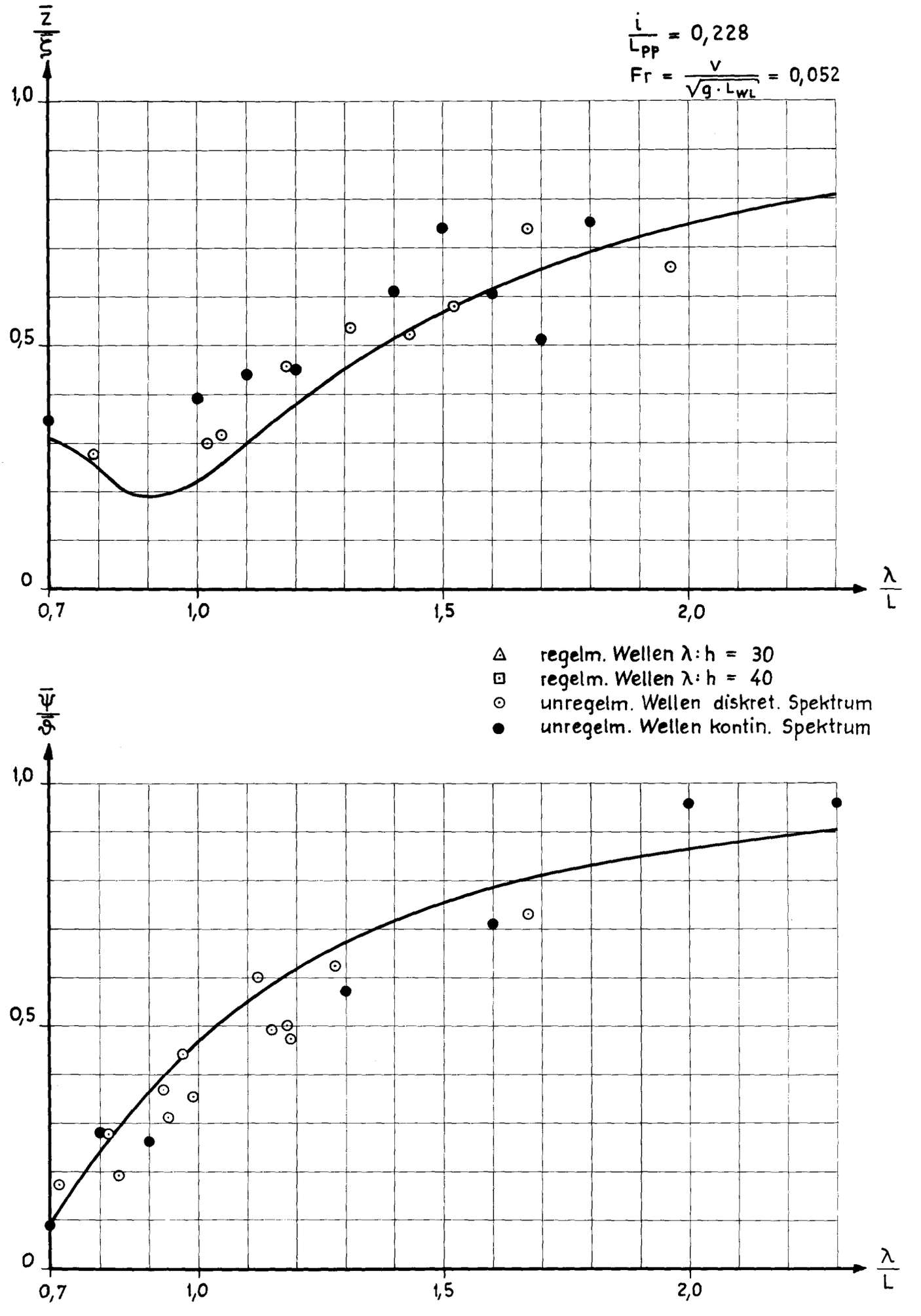

$\frac{\bar{z}}{\zeta_A}$
$\frac{i}{L_{PP}} = 0{,}228$
$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} = 0{,}052$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$
regelm. Wellen λ : h = 30
regelm. Wellen λ : h = 40
unregelm. Wellen diskret. Spektrum
unregelm. Wellen kontin. Spektrum
$\frac{\bar{\psi}}{\varphi_A}$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$

Abb. 12

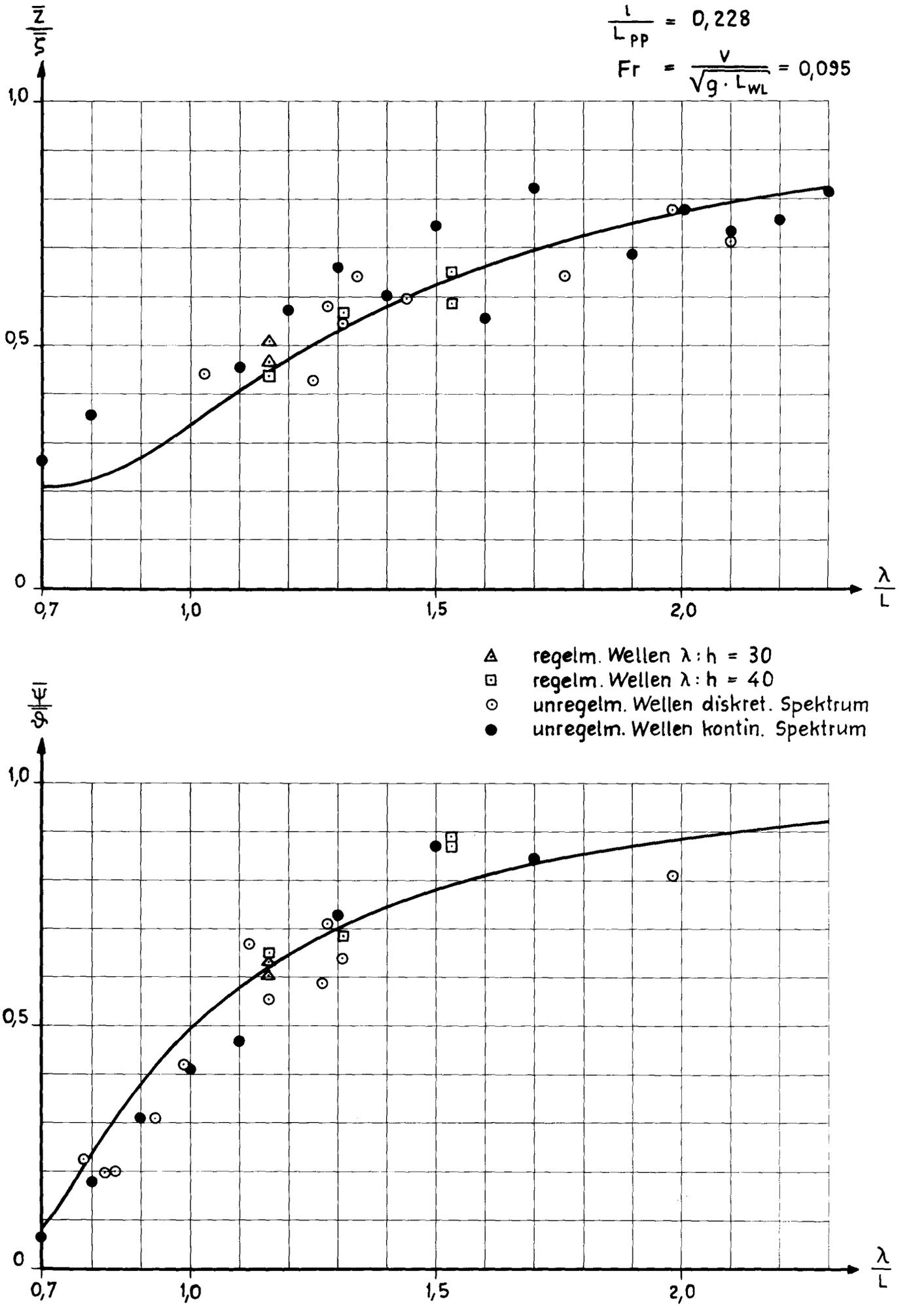

$\frac{i}{L_{PP}} = 0{,}228$
$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} = 0{,}095$
$\frac{\bar{z}}{\zeta}$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$
regelm. Wellen λ : h = 30
regelm. Wellen λ : h = 40
unregelm. Wellen diskret. Spektrum
unregelm. Wellen kontin. Spektrum
$\frac{\bar{\psi}}{\varphi}$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$

Abb. 13

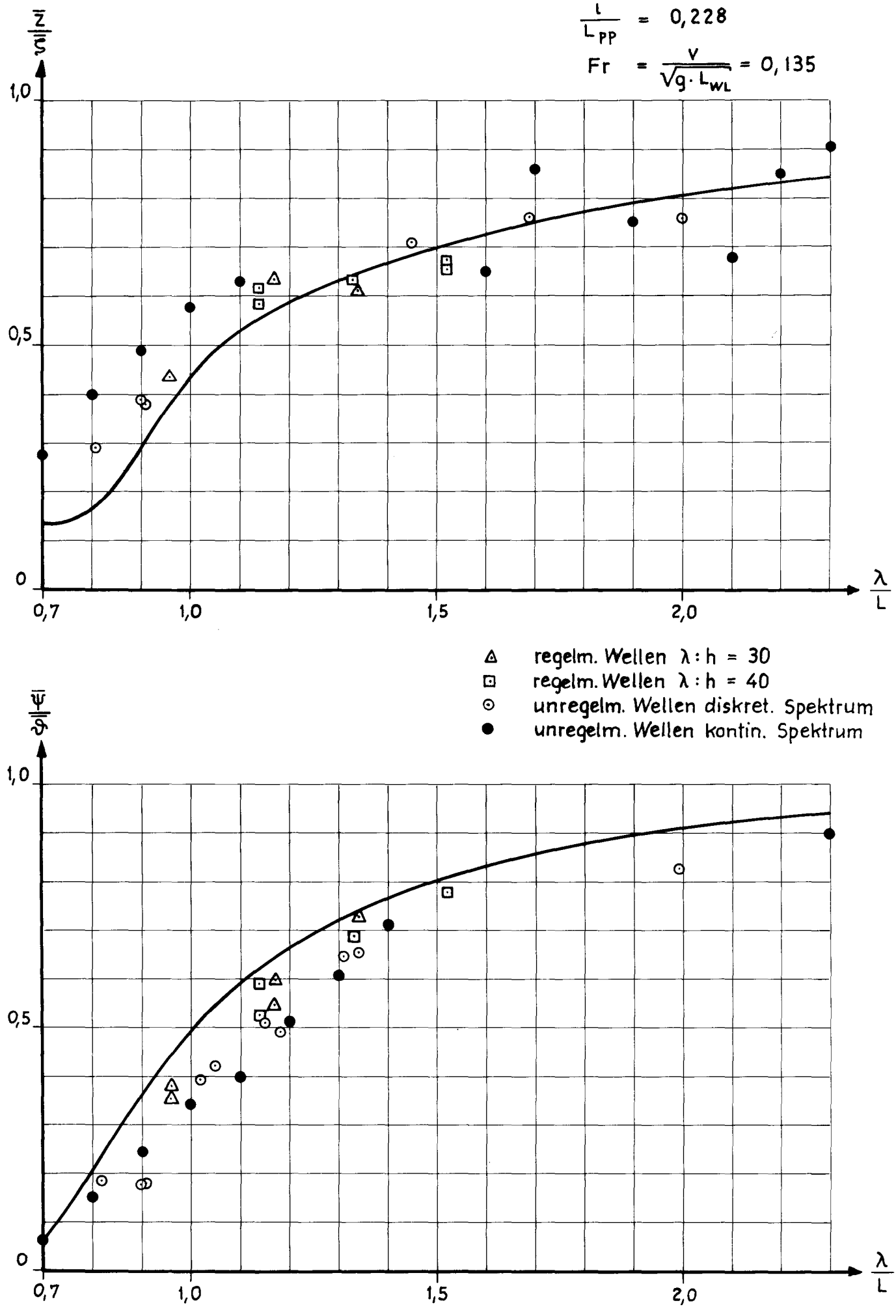

$\frac{i}{L_{PP}} = 0,228$
$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} = 0,135$
$\frac{\bar{z}}{\zeta_a}$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$
regelm. Wellen λ : h = 30
regelm. Wellen λ : h = 40
unregelm. Wellen diskret. Spektrum
unregelm. Wellen kontin. Spektrum
$\frac{\bar{\psi}}{\vartheta}$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$

Abb. 14

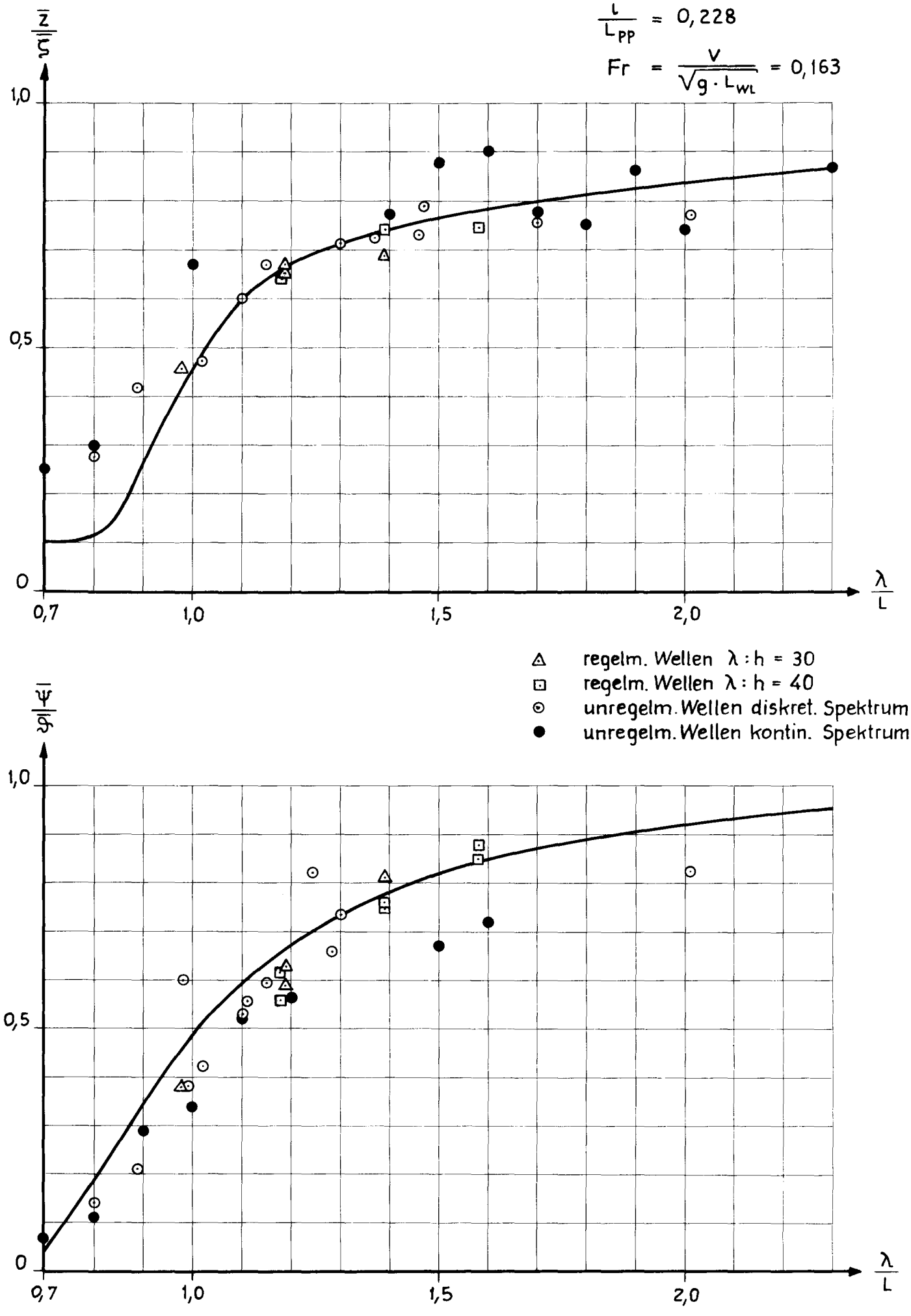

$\frac{i}{L_{PP}} = 0,228$
$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} = 0,163$
$\frac{\bar{z}}{\zeta_a}$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$
regelm. Wellen λ : h = 30
regelm. Wellen λ : h = 40
unregelm. Wellen diskret. Spektrum
unregelm. Wellen kontin. Spektrum
$\frac{\bar{\psi}}{\varphi_a}$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$

Abb. 15

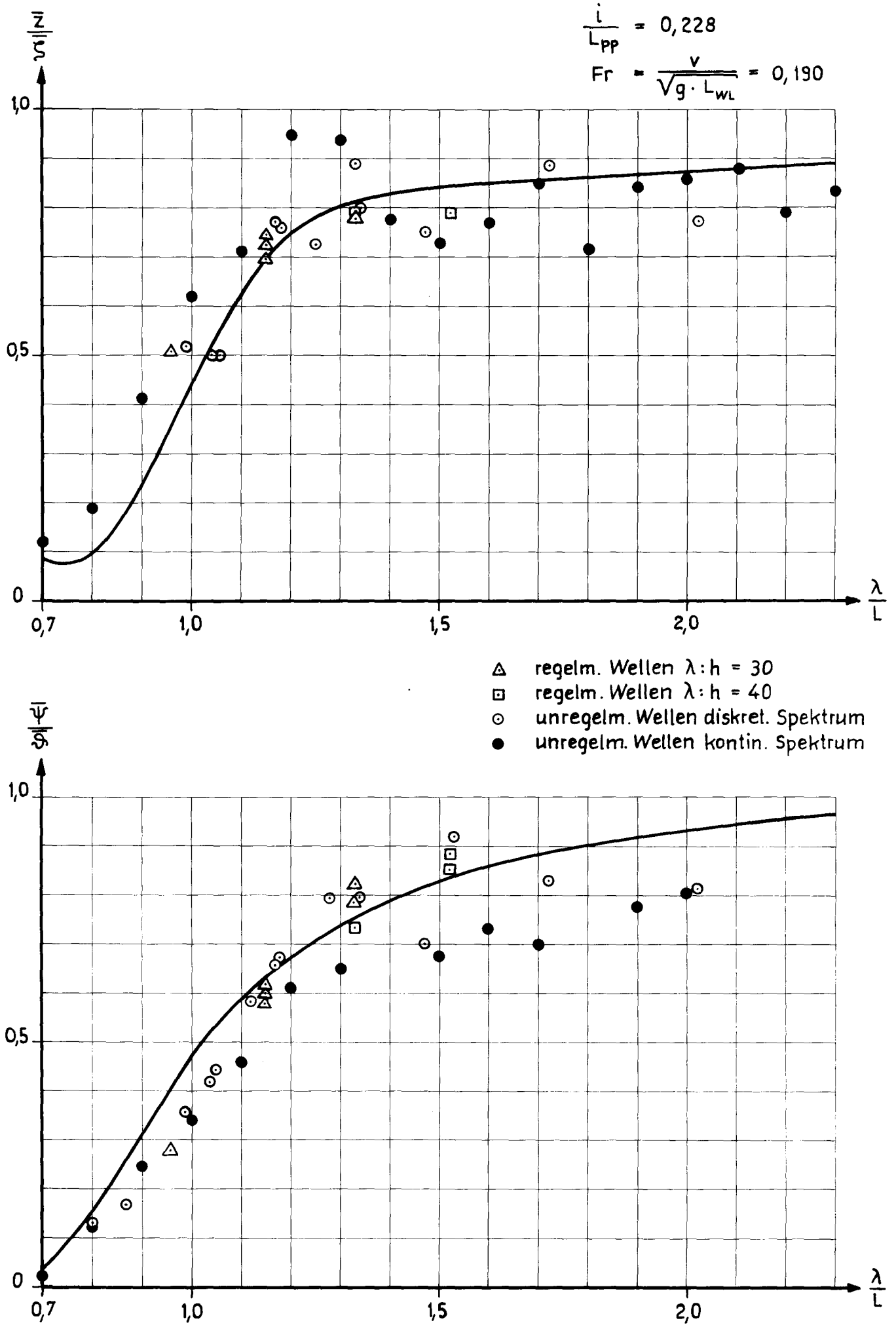

$\frac{i}{L_{PP}} = 0,228$
$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} = 0,190$
$\frac{\overline{z}}{\zeta}$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$
regelm. Wellen λ:h = 30
regelm. Wellen λ:h = 40
unregelm. Wellen diskret. Spektrum
unregelm. Wellen kontin. Spektrum
$\frac{\overline{\psi}}{\varphi}$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$

Abb. 16

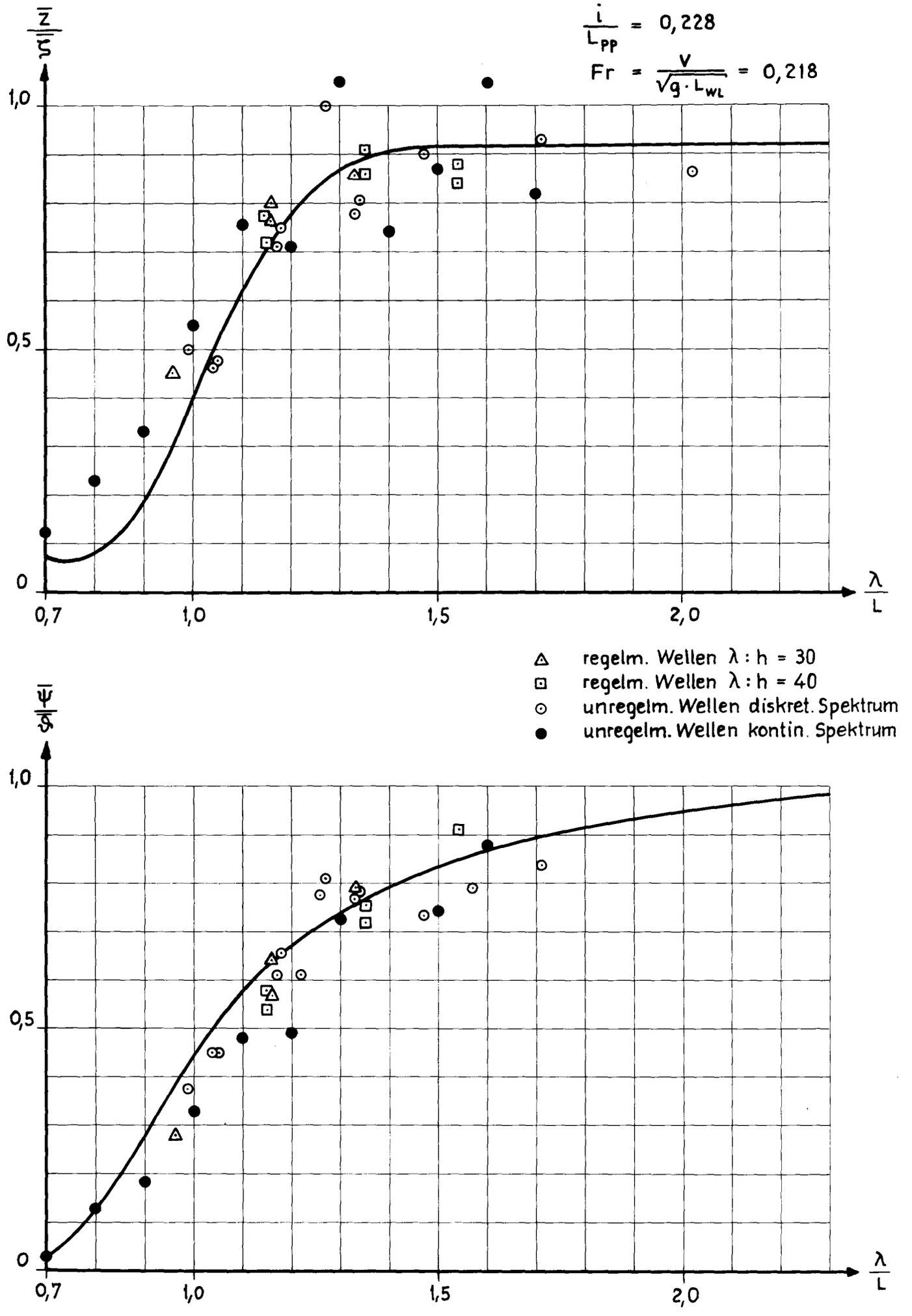
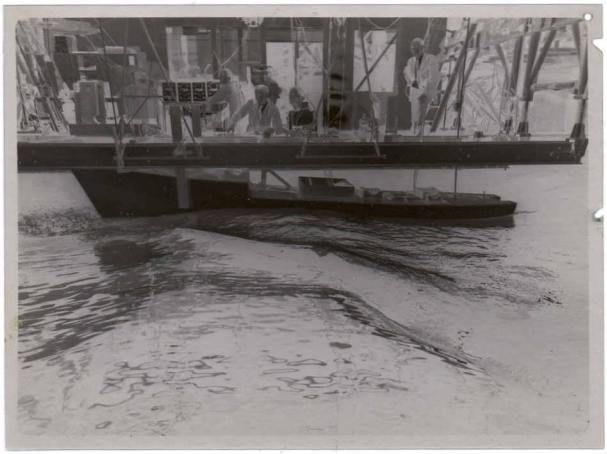

$\frac{i}{L_{PP}} = 0,228$
$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} = 0,218$
$\frac{\overline{z}}{\zeta}$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$
regelm. Wellen λ : h = 30
regelm. Wellen λ : h = 40
unregelm. Wellen diskret. Spektrum
unregelm. Wellen kontin. Spektrum
$\frac{\overline{\psi}}{\vartheta}$
1,0
0,5
0
0,7
1,0
1,5
2,0
$\frac{\lambda}{L}$

Abb. 17



Untersuchungen über das Seeverhalten von Schiffen

Von Harald Keil, Hamburg

Immer häufiger richteten in den letzten Jahren Reeder und Konstrukteur beim Entwurf von Schiffen ihr Augenmerk auf das Seeverhalten. Ein Grund dafür ist die Tatsache, daß durch die Fortschritte der Wissenschaft auf diesem Gebiet in den letzten zwei Jahrzehnten heute quantitative Aussagen über die Bewegungen eines Schiffes und die damit verbundenen Beanspruchungen der Hauptverbände und Widerstandserhöhungen gemacht werden können. Es sollte alles unternommen werden, um diese erfreuliche Entwicklung in der Praxis zu fördern. Dazu gehört neben der Weiterentwicklung der Grundlagen vor allem die Suche nach Methoden, die auf eine möglichst rationelle Weise zu dem gewünschten Ziel führen.

Die weitestgehenden Auswirkungen auf die Praxis haben wohl die Anstrengungen auf dem Gebiet der Festigkeit. Man kann die Längsbiegemomente berechnen, die an einem bestimmten Schiff in einem Seegebiet mit vorgegebener Wahrscheinlichkeit auftreten. Die Klassifikationsgesellschaften lassen solche Rechnungen durchführen, und die Ergebnisse werden ihren Niederschlag in den Bauvorschriften finden.

In Ermangelung einer Theorie, die die auf einen dreidimensionalen Körper wirkenden hydrodynamischen Kräfte und Momente genügend genau bestimmen ließ, stellte lange Zeit das Experiment die einzige Möglichkeit dar, und zwar der Modellversuch in regelmäßigen Wellen. Die Verfeinerung der Versuchs- und Meßtechnik erlaubte dann eine Verringerung des Aufwandes dadurch, daß mehrere regelmäßige Wellen überlagert wurden. Als Krönung der Bemühungen um Reduzierung der Versuchszeit kann vielleicht die sog. Impulsmethode von Zarnick und Davis [10] betrachtet werden, wenn sie von darin geübten Experimentatoren angewandt wird.

Es ist heute jedoch möglich, die Übertragungsfunktionen rechnerisch zu bestimmen. Dies ist der Entwicklung der Digitalrechner zu verdanken, die es ermöglichten, die bekannten Theorien [3 bis 7] zur Bestimmung der hydrodynamischen Kräfte für Schiffsformen numerisch auszuwerten. Programme dieser Art, auch unter Zugrundelegung der Grimschen Ansätze, sind an mehreren Stellen der Welt vorhanden, in Deutschland am Institut für Schiffbau in Hamburg.

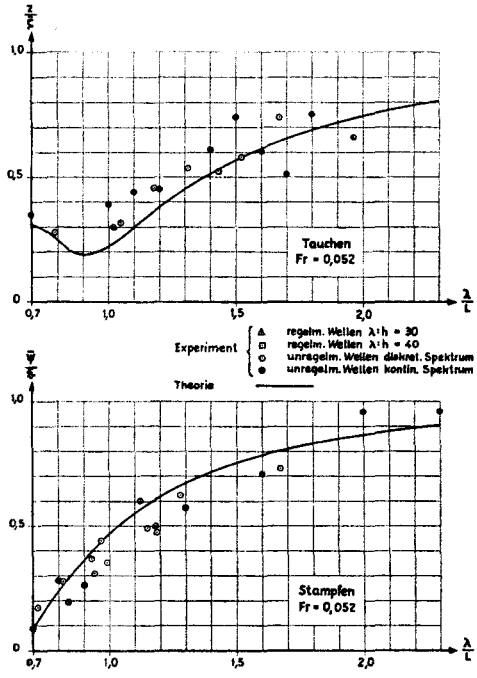


Abb. 1

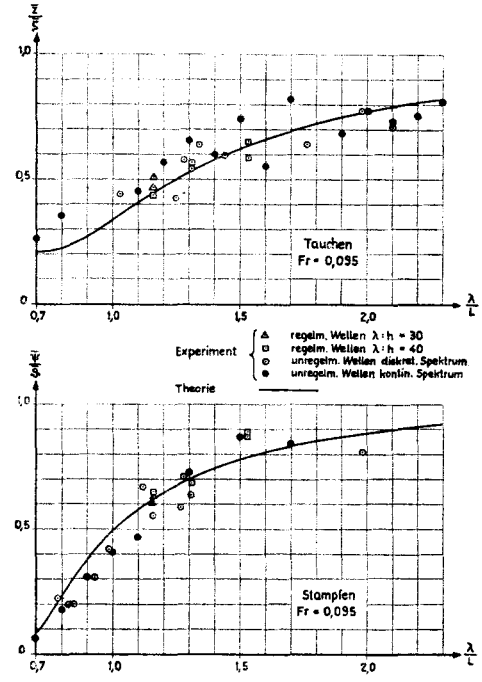


Abb. 2

Zur Bestimmung des Biegemomentes ist die Kenntnis der Bewegung des Schiffes Voraussetzung, da sich daraus die hydrodynamischen Kräfte und die Massenkräfte ergeben. Aussagen über die Bewegungen eines Schiffes liefern die Übertragungsfunktionen für die einzelnen Bewegungen, d. i. das Verhältnis der Amplitude der Bewegung zur Amplitude der Erregung bei harmonischer Erregung, aufgetragen über der Frequenz. Kennt man diese, so kann man für beliebige Erregungen die Bewegungen bestimmen, vorausgesetzt, daß die Zusammenhänge linear sind. Für die Rollbewegung trifft diese Voraussetzung nur zu, solange die Bewegung klein bleibt, bei der Tauch- und der Stampfbewegung sind die nichtlinearen Einflüsse jedoch so gering, daß sie für die praktische Anwendung außer acht gelassen werden können.

Eines der Hauptprobleme ist es also, die Übertragungsfunktionen für das Tauchen und das Stampfen zu bestimmen. Grundsätzlich sind zwei Möglichkeiten gegeben:

1. die theoretische und
2. die experimentelle Bestimmung.

Es liegen einige Vergleiche von Ergebnissen aus Modellversuchen mit theoretisch ermittelten Werten vor, die im Rahmen der möglichen Genauigkeit eine gute Übereinstimmung aufweisen. Daß auch für Formen, die von der eines Normalfrachters oder -tankers abweichen, die Rechnung zu guten Ergebnissen führt, sollen die hier angeführten Beispiele zeigen. Es handelt sich dabei um das Forschungsschiff „Meteor", dessen Modell in regelmäßigen Wellen mit zwei Steilheiten, in unregelmäßigen Wellen aus drei bzw. fünf harmonischen Komponenten und im Impulsseegang untersucht wurde.

In den Abb. 1 bis 6 ist für auf die Länge in der Wasserlinie bezogene Froude-Zahlen von 0,052 bis 0,218 der aus den Modellversuchen ermittelte Betrag der Übertragungsfunktionen für die Stampf- und die Tauchbewegung den aus dem Hamburger Rechenprogramm erhaltenen Resultaten gegenübergestellt. Die verschiedenen Punkte bedeuten die verschiedenen erregenden Seegänge. Das Verhältnis des Massen-

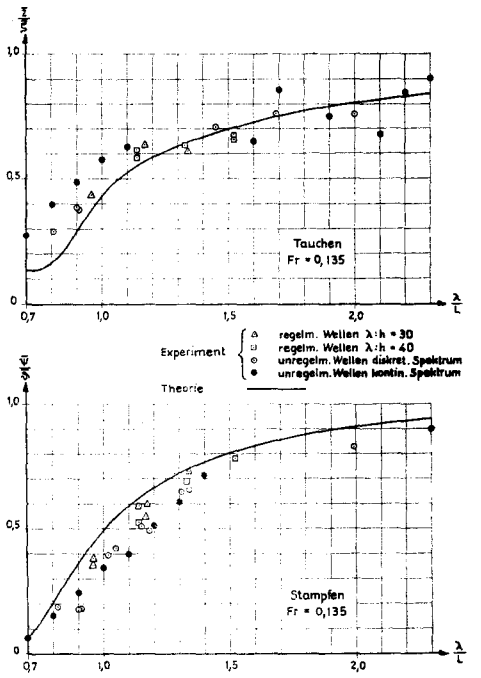


Abb. 3

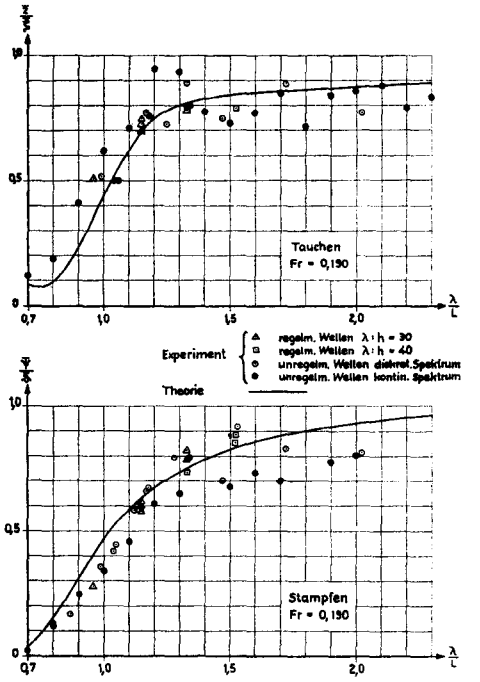


Abb. 5

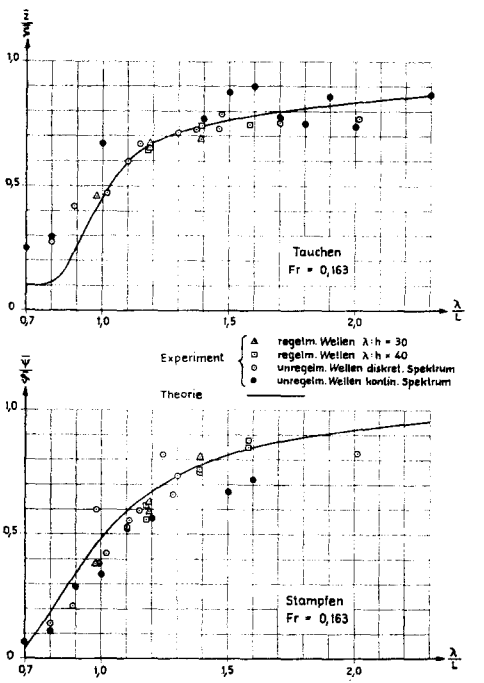


Abb. 4

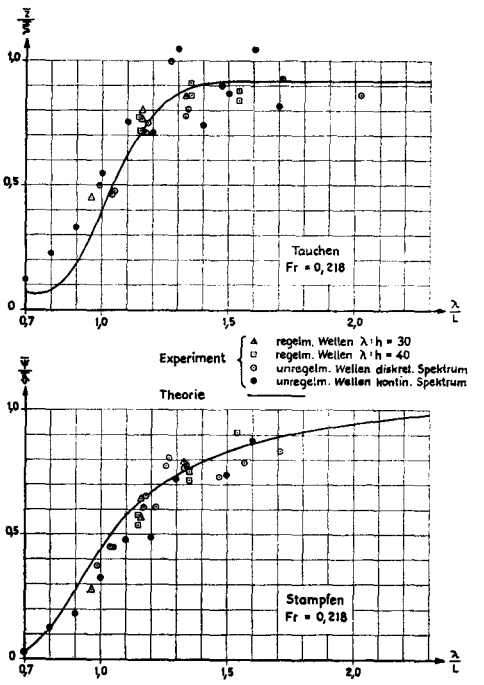


Abb. 6

trägheitsradius der Länge nach zur Länge zwischen den Loten betrug in Rechnung und Versuch 0,228 (das entspricht dem um 10 % vergrößerten Trägheitsmoment des verdrängten Wassers).

Symbole:

$\overline{z}$ Tauchamplitude auf Hauptspant
$\overline{\zeta}$ Wellenamplitude
$\overline{\psi}$ Stampfamplitude
$\overline{\vartheta}$ Amplitude der Wellenschräge
λ Wellenlänge

Literatur:

[1] Korvin-Kroukovsky, B. V. and W. R. Jacobs: Pitching and Heaving Motions of a Ship in Regular Waves. Trans. SNAME, vol. 65 (1957).

[2] Watanabe, Y.: On the Theory of Pitch and Heave of a Ship. Techn. Rep. Kyushu University, vol. 31 No. 1, 1958.

[3] Ursell, F.: On the Heaving Motion of a Circular Cylinder on the Surface of a Fluid. Quat. Journ. Mech. Appl. Math. 2 (1949), S. 218.

[4] Porter, W. R.: Pressure Distributions, Added Mass and Damping Coefficients for Cylinders Oscillating in a Free Surface. Univers. California, Inst. Eng. Res., Ser. No. 82, No. 16, 1960.

[5] Grim, O.: Berechnung der durch Schwingungen eines Schiffskörpers erzeugten hydrodynamischen Kräfte. Jahrb. STG, Band 47 (1953).

[6] Grim, O.: A Method for a More Precise Computation of Heaving and Pitching Motions Both in Smooth Water and in Waves. 3rd. Sympos. Nav. Hydrodyn. Scheveningen, 1960.

[7] Tasai, F.: On the Damping Force and Added Mass of Ships Heaving and Pitching. Rep. Res. Inst. Appl. Mech. Kyushu University, vol. VII No. 26, 1959.

[8] International Towing Tank Conference (ITTC), 11th Conference, Tokyo 1966, Report Seakeeping Committee.

[9] Gerritsma, J. and W. Beukelmann: The Distribution of the Hydrodynamic Forces on a Heaving and Pitching Ship in Still Water. Techn. Univers. Delft, Publication No. 22, 1964.

[10] Davis, M. C. and E. E. Zarnick: Testing Ship Models in Transient Waves. 5th Sympos. Nav. Hydrodyn., Bergen, 1964.

[11] Grim, O.: Die Bewegungen und Belastungen des Schiffes im Seegang. Jahrb. STG, Band 61 (1967).