

182 | Mai 1967

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

O. Grim

Die Bewegungen und Belastungen des Schiffes im Seegang

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 182

Die Bewegungen und Belastungen des Schiffes
im Seegang

von

O. Grim

Hamburg, Mai 1967

Sprechabend der STG in Bremen am 31. März 1967

O. Grim

Die Bewegungen und Belastungen des Schiffes
im Seegang

Einleitung

Der Schiffstheorie und der Versuchstechnik sind seit etwa 1950 große Fortschritte bei der Bearbeitung der Fragen nach dem Verhalten des Schiffes im Seegang gelungen.

Da das Schiff im Seegang in vielfacher Hinsicht den größten Belastungen ausgesetzt ist, ist man schon lange diesen Fragen nachgegangen. Ein hervorragendes Beispiel ist die Meßfahrt der "San Franzisko". Jedoch blieb es schwierig, und nur zum Teil möglich, die Ergebnisse dieser Bemühungen zu verwerten und beim Entwurf eines Schiffes nutzbringend anzuwenden.

Die Arbeiten der letzten 15 Jahre haben zu weitgehenden Ergebnissen geführt und es ist heute leichter als in der Vergangenheit möglich, diese Ergebnisse zu verwerten.

Die Fortschritte wurden vor allem durch zwei Leistungen ermöglicht:

Die Entwicklung und Einführung der modernen Rechen- und Versuchstechnik, sowie die Entwicklung und Einführung der statistischen Methode zur Darstellung des natürlichen Seeganges und des Verhaltens des Schiffes in diesem Seegang.

Gestützt auf diese beiden Pfeiler wurden an vielen Plätzen zahlreiche theoretische und experimentelle Arbeiten ausgeführt, die zum großen Teil zu gut übereinstimmenden Ergebnissen geführt und daher das Vertrauen zu den neuen Methoden und Ergebnissen gestärkt haben.

In diesem kurzen Referat werden keine originellen Ergebnisse mitgeteilt. Es richtet sich nicht an die Kollegen, die sich mit diesen Problemen intensiv beschäftigen. Das Ziel dieses Referates ist es, einen großen Kreis von im praktischen Schiffbau tätigen Kollegen anzusprechen und diese auf die erwähnten Fortschritte sowie die heute gegebenen Möglichkeiten aufmerksam zu machen.

Hierbei kann ich nicht alle Aspekte des Verhaltens im Seegang besprechen. Ich werde nur die Teilprobleme behandeln, deren Erforschung mir als am weitesten und erfolgreichsten fortgeschritten erscheint: Das sind die Probleme der Bewegungen und Belastungen des Schiffes im Seegang.

1.) Bewegungen und Belastungen in einer regelmäßigen Wellen. Wir wissen alle, daß der natürliche Seegang weit von einer regelmäßigen Welle entfernt ist. Wir wissen auch, daß in der Vergangenheit eine der größten Schwierigkeiten unseres Themas darin bestand, für regelmäßige Wellen gewonnene Ergebnisse auf den natürlichen Seegang zu übertragen. Heute ist diese Schwierigkeit weitgehend überwunden. Für die Voraussage des statistischen Verhaltens in natürlichem Seegang bleibt aber die Kenntnis des Verhaltens in regelmäßigen Wellen eine notwendige Voraussetzung.

Die Bestimmung der Bewegungen und Belastungen des Schiffes in einer regelmäßigen Welle erfordert die Lösung eines schwierigen hydrodynamischen Problems, da die mitwirkenden, von der Welle und den Bewegungen abhängigen hydrodynamischen Kräfte von sehr maßgebender Bedeutung sind. Die Voraussetzungen für die theoretische oder experimentelle Bearbeitung dieses hydrodynamischen Problems sind gut und besser als für das Problem des Schiffswiderstandes in glattem Wasser, da die Zähigkeit der Flüssigkeit sowie nichtlineare Effekte hierbei keine so maßgebenden Rollen spielen. Allerdings erfordert die Lösung dieses Problems sehr umfangreiche Rechnungen oder Messungen, die erst durch die modernen Rechen- oder Meßtechniken ermöglicht wurden. Es liegen heute zahlreiche zufriedenstellende Ergebnisse vor. Vor allem gilt das für das Schiff in einer längslaufenden Welle. Aber auch für das Schiff in einer schrägläufigen Welle sind viele Arbeiten ausgeführt und zum Teil gute Ergebnisse gewonnen worden; sie liegen allerdings, da die Untersuchungen hierfür noch aufwendiger sind, nicht in gleich großer Zahl vor und sind auch durch einen etwas größeren Einfluß der Zähigkeit der Flüssigkeit belastet. Glücklicherweise ist für viele praktische Fragen der Fall des Schiffes in längslaufender, von vorne oder von hinten kommender See maßgebend, nämlich für:

Die größten Bewegungen und Beschleunigungen des Schiffes in vertikaler Richtung,

Die größten Relativbewegungen zwischen Schiff und Wasseroberfläche insbesondere am Vor- oder Hinterschiff und damit für das Austausch und Wiedereinsetzen des Vorschiffs oder für das Überspülen von Decksflächen,

Die größten Belastungen (Querkraft und Längsbiegemoment) des Schiffes in Wellen.

Die weiteren Ausführungen betreffen nur noch das Schiff in längs- laufender See.

Für ^{die} genannten Bewegungsgrößen gilt weitgehend eine lineare Gesetzmäßigkeit, das heißt, diese Größen wachsen bei sonst gleichgehaltenen Bedingungen linear mit der Wellenhöhe. Sie können mit ausreichender Genauigkeit durch den Modellversuch bestimmt werden, sie können ebensogut berechnet werden. Es gibt heute Rechenprogramme, in die nur die geometrischen Daten des Schiffes und der Welle, sowie die Geschwindigkeit des Schiffes eingegeben werden und die alle erwähnten Bewegungsgrößen oder Belastungen liefern. Da diese Berechnungen von der Maschine in kurzer Zeit ausgeführt werden, können sie für viele Wellenlängen, Geschwindigkeiten oder Schiffsformen usw. wiederholt werden.

Die Berechnung erfolgt in zwei Schritten:

a.) Zuerst werden die hydrodynamischen Kräfte berechnet, die bei der harmonischen Tauchbewegung eines einfachen, zweidimensionalen Körpers (unendlich langer Körper gleichbleibenden Querschnittes) auftreten. Für diese Berechnung wurden unabhängig voneinander an verschiedenen Plätzen Methoden entwickelt, vor allem von Ursell, Porter, Tasai und dem Verfasser [1 bis 5]. Porter und Tasai haben auch Modellversuche mit zweidimensionalen Körpern ausgeführt und hierdurch die Ergebnisse der Berechnung gut bestätigt erhalten. (Abb. 1 und 2). Die nach den verschiedenen Methoden berechneten Ergebnisse stimmen gut überein.

b.) Dann werden die hydrodynamischen Kräfte an dem eine harmonische Tauch- und Stampfbewegung ausführenden Schiff, die durch die Welle erregten Kräfte und die durch die Welle erregten Bewegungen des Schiffes berechnet. Die Bewegungen folgen aus den Bewegungsgleichungen, die aus den Bedingungen für das Gleichg-

wicht aller am Schiff angreifenden Kräfte resultieren. Diesen Berechnungen liegt die Streifenmethode zu Grunde, die von Watanabe und Korvin-Kroukovsky [6 und 7] für diese Aufgabe eingeführt wurde. Diese Methode setzt voraus, daß die unter a.) erwähnte Berechnung für genügend viele Querschnittsprofile (Spantprofile) des Schiffes ausgeführt wurde. Die Streifenmethode beruht auf weitgehenden Vereinfachungen und Annahmen; für einen Körper, dessen Länge ein Mehrfaches von Breite oder Tiefgang ist - insbesondere also für einen Schiffskörper -, ist sie jedoch in den meisten Fällen genügend genau, wie z.B. Rechnungen und Messungen von Gerritsma [8, 9] über die Verteilung der hydrodynamischen Kräfte über die Länge eines Schiffmodells und über die Bewegungen sowie Messungen und Berechnungen von Løtveit und Maslum über das Biegemoment zeigen [10]. (Abb.3 bis 6)

Die Verhältnisse der Amplituden der einzelnen Größen (z.B. Tauchstamplamplitude oder Biegemomentenamplitude) zu der Amplitude der erregenden Welle heißen Übertragungsfunktionen. Natürlich sind diese Übertragungsfunktionen von der Schiffsforn, Schiffsgeschwindigkeit und Wellenlänge abhängig. Für die besprochenen Berechnungen gibt es an verschiedenen Plätzen Rechenprogramme, denen etwas verschiedene Methoden zu Grunde liegen. Um ein Urteil über die Übereinstimmung dieser Programme zu erhalten, wurde auf Veranlassung des Seakeeping Committee der ITTC (International Towing Tank Conference) für die gleiche Schiffsforn, die gleichen Wellenlängen und Geschwindigkeiten mit den verschiedenen Programmen solche Berechnungen ausgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt (Abb. 7a und b)- Auszug aus dem Report des Seakeeping Committee der XI. ITTC, Tokio [11]).

2.) Bewegungen und Belastungen in natürlichem Seegang.

Selbstverständlich interessiert den Praktiker - den Entwurfsingenieur oder den Nautiker - das Verhalten des Schiffes in natürlichem Seegang. Lange Zeit konnte man für dieses Verhalten, das durch eine weitgehende Regellosigkeit gekennzeichnet scheint, keine Gesetzmäßigkeit angeben und keine quantitativen Aussagen gewinnen. Das behinderte die Forschung sehr. Dieser Zustand wurde verändert durch die Arbeit von Pierson und St.Denis [12], in der

der Weg zur Behandlung dieses Fragenkomplexes gewiesen wurde (siehe auch 13 und 14.). Die Weisung dieses Weges hat in der Folge zu intensiven Bearbeitungen geführt, durch die heute die Tragfähigkeit dieses Weges als erwiesen gelten kann. Es gilt heute als gesichert, daß für einen Seegang und für viele Merkmale des Verhaltens eines Schiffes in diesem Seegang (für alle, für die eine lineare Gesetzmäßigkeit gilt) statistische Aussagen möglich sind. Notwendig hierfür ist die Kenntnis des Seegangsspektrums und die Kenntnis des Verhaltens des Schiffes in regelmäßigen Wellen (d.h. der Übertragungsfunktionen).

Ein natürlicher Seegang wird danach dargestellt als Summe von unendlich vielen harmonischen Elementarwellen, deren Amplituden und Laufrichtungen durch ein Spektrum gegeben und deren Phasen zufällig verteilt sind. Ein vereinfachtes Modell dieses Seeganges, das jedoch für viele Zwecke ausreicht, erhält man, wenn man annimmt, daß alle Elementarwellen in der gleichen Richtung laufen. Da dann alle Wellenberge und Täler senkrecht zur Fortschrittsrichtung unendlich lang sind, wird dieser Seegang als langkämmig bezeichnet. In diesem vereinfachten Fall gibt das Seegangsspektrum die Verteilung der Amplituden der Elementarwellen an und zwar gibt die Fläche eines Streifens über einem Frequenzintervall das Quadrat der Amplitude der Elementarwelle an, die alle in dem Frequenzintervall liegenden Elementarwellen repräsentiert (Abb. 81).

Sind die unter 1.) erwähnten Übertragungsfunktionen für die einzelnen Aspekte des Verhaltens des Schiffes in regelmäßigen Wellen bekannt und ist das Spektrum des Seeganges gegeben, können für die betreffenden Größen Spektren bestimmt werden, die für das Verhalten des Schiffes in diesem Seegang gelten, z.B. Bewegungs-, Beschleunigungs-, Querkraft-, Biegemomentspektren. Es ist dazu nur notwendig, das Seegangsspektrum mit dem Quadrat der betreffenden Übertragungsfunktion zu multiplizieren (Abb. 81).

Aus den Spektren können statistische Werte, wie Mittelwerte der Amplituden oder Maximalwerte der Amplituden, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erreicht und überschritten werden, errechnet werden.

Das Verfahren, aus einem Seegangsspektrum mit Hilfe der Übertragungsfunktionen Spektren für die Bewegungsgrößen zu bestimmen, arbeitet so gut, daß es auch in umgekehrter Richtung funktioniert. Man kann z.B. in einem Versuchsbecken irgendeinen unregelmäßigen Modellseegang erzeugen, ein Schiffsmodell in diesem Seegang fahren und das Spektrum des Modellseeganges sowie die Spektren der Bewegungsgrößen aus den betreffenden Registrierungen bestimmen. Die Übertragungsfunktionen können dann aus den Verhältnissen der Ordinaten der Spektren bestimmt werden und sie müssen die gleichen sein wie die, die aus Messungen in regelmäßigen Wellen bestimmt werden können. Auf diesem Wege kann bei der Ausführung von Modellversuchen viel Zeit gespart werden. Die Übertragungsfunktionen können dann verwendet werden, um die Spektren der Bewegungsgrößen für einen beliebigen anderen natürlichen Seegang zu bestimmen. Die Abb. 9 und 10 zeigen Übertragungsfunktionen für die Stampfbewegung und für das Biegemoment, und zwar die nach der Streifenmethode (siehe Pkt. 1) berechneten, die aus Modellversuchen in regelmäßigen Wellen bestimmten, sowie die aus Modellversuchen in einem unregelmäßigen Modellseegang bestimmten Übertragungsfunktionen.

Da auch für die Relativbewegung zwischen Schiff und Wasseroberfläche ein Spektrum bestimmt werden kann, sind auch über die Voraussetzungen zu schweren hydrodynamischen Stößen (Slamming) in natürlichem Seegang Aussagen möglich. Slamming entsteht, wenn das Vorschiff austaucht und dann mit einer größeren Geschwindigkeit auf die Wasseroberfläche aufschlägt. Über das Austauchen und die Geschwindigkeit des Wiedereinsetzens gibt das Spektrum der Relativbewegung Auskunft. Um über die Stärke der Stöße Aussagen machen zu können, ist es außerdem noch notwendig, die Größe des hydrodynamischen Druckes in Abhängigkeit von der Schiffsform und der Relativgeschwindigkeit zu kennen. Ochi (16) hat diese Gesetzmäßigkeit für eine Schiffsform bestimmt und war damit in der Lage, die Verteilung des hydrodynamischen Druckes bei Slamming in natürlichem Seegang anzugeben (Abb. 11).

3.) Langzeitvoraussage für die durch den Seegang verursachten Bewegungen und Belastungen des Schiffes

Welcher Seegang in der Natur auftritt, kann selbstverständlich nur durch Messungen festgestellt werden. Von Ozeanographen sind solche Messungen in größerer Zahl ausgeführt worden. Die Auswertungen resultieren in Seegangsspektren und es wurde versucht, typische Formen dieser Spektren zu erkennen. Das führte zu Vorschlägen von verschiedenen Formeln für die Seegangsspektren, in denen einzelne für den Seegang maßgebende Größen - insbesondere die Windgeschwindigkeit - als Parameter stehen. Bekannt sind insbesondere das Neumann-, das Bretschneider-, das Darbyshire- und das Pierson - Moskowitschspektrum. Die ausgeführten Seegangsmessungen und -auswertungen, die sehr aufwendig sind, reichen heute noch nicht aus, um über alle in der Natur vorkommenden Seegänge sowie ihre Verteilung über die Ozeane und Jahreszeiten Bescheid zu wissen.

und ihre Verteilung über die Ozeane und Jahreszeiten Bescheid zu wissen.

Für den Schiffbauer reicht es nicht aus, das Verhalten des Schiffe in einem bestimmten natürlichen Seegang zu kennen. Beim Entwurf des Schiffes muß an alle Seegänge gedacht werden, in die das Schiff während seiner Lebenszeit kommen kann. Wie schon erwähnt, kennen wir nicht die Spektren aller in der Natur vorkommenden Seegänge und ihre Verteilung. ~~Es~~ werden aber seit langer Zeit Seegangsbeobachtungen ausgeführt und die Beobachtungsergebnisse gesammelt. Als Behelf können aus diesen Beobachtungsergebnissen Seegangsspektren konstruiert ^{es kann} und die Verteilung dieser Spektren angegeben werden. Vorschläge für dieses Verfahren sind von der **ISSC** (International Ship Structure Congress) ausgearbeitet und in [15] veröffentlicht worden. In dieser Veröffentlichung sind für 12 Seegebiete Beobachtungsergebnisse gesammelt und geordnet worden, und zwar sind die geschätzten bezeichnenden Wellenhöhen, Wellenperioden und die Laufrichtungen aufgeführt. Alle drei Größen sind in Klassen unterteilt und für jede Klasse die Häufigkeit des Auftretens in Prozenten angegeben. Diese Daten sind für jedes Seegebiet aus je etwa 300.000 Beobachtungen ermittelt worden (~~Abbildung 2 zeigt~~ einen Auszug für ein Seegebiet).

In der Veröffentlichung wird ausgeführt, wie für eine geschätzte bezeichnende Wellenhöhe und -periode ein Spektrum des betreffenden Seegangs konstruiert ~~werden kann. So wird für jede Kombination~~ Wellenhöhe und -periode (ev. auch Laufrichtung) ein Spektrum erhalten. Die Häufigkeit des Auftretens eines Seeganges dieses Spektrums in dem Seegebiet ist natürlich die gleich wie für die betreffende Kombination Wellenhöhe-Wellenperiode.

Damit ist für jedes der Seegebiete eine Verteilung von Seegangsspektren über einen sehr langen Zeitraum gewonnen. Für ein Schiff, das sehr lange in dem Seegebiet fahren soll, können auf dem unter 1.) und 2.) beschriebenen Wege für die verschiedenen Seegangsspektren Spektren der Bewegungsgrößen berechnet werden. Für die Verteilung dieser Spektren über einen langen Zeitraum gilt wieder das gleiche wie für die Verteilung der Seegangsspektren.

Damit ist das Endziel erreicht: Die Kenntnis einer großen Zahl von in der Natur für das betreffende Schiff zu erwartenden Spektren von Bewegungsgrößen und ihrer Verteilung über einen langen Zeitraum.

Diese Unterlagen erlauben es, statistische Werte für die einzelnen Größen des Verhaltens des Schiffes zu gewinnen. Zum Beispiel: Es können Mittelwerte für die Amplituden über einen sehr langen Zeitraum gewonnen werden, Mittelwerte für die Amplituden der Tauch- oder Stampfbewegung der Beschleunigung in vertikaler Richtung an irgendeiner Stelle des Schiffes, Mittelwerte für die Amplituden der Relativbewegung, der Querkraft oder des durch den Seegang verursachten Biegemomentes an irgendeiner Stelle des Schiffes. Ebensogut können für alle diese Amplituden Werte angegeben werden, die über einen sehr langen Zeitraum gesehen, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit erreicht oder überschritten werden. Die Tabellen Abb. 13 und 14 zeigen z.B. solche statistischen Werte für ein bestimmtes Schiff im Nordatlantik. In der Tabelle Abb. 13 sind in den ersten Spalten die geometrischen Daten des Schiffes genannt, dann das Verhältnis I/L d.i. Trägheitsradius/Länge, und unter F die Froudesche Zahl, für die die folgenden statistischen Werte gelten. Die statistischen Daten sind für die Beschleunigung in vertikaler Richtung angegeben, und zwar für die Beschleunigung an drei Stellen des Schiffes: Auf 0,00 L, das ist am hinteren Lot, auf 0,30 L und auf 0,70 L vor dem hinteren Lot. In den weiteren Spalten ist die Wahrscheinlichkeit in Prozent angegeben, mit der die Amplitude der Beschleunigung den Wert von 1,2, 3,5 oder 10 m/sec^2 erreicht oder überschreitet. In der Tabelle Abb. 14 sind gleiche statistische Werte für das Biegemoment im Hauptspant genannt.

Alle für diese oder ähnliche Ergebnisse erforderlichen Berechnungen - Berechnungen des Verhaltens in regelmäßigen Wellen, der Seegangsspektren, der Spektren der verschiedenen interessierenden Bewegungsgrößen, ihrer Verteilung und schließlich der gewünschten statistischen Daten - können in einem Rechenprogramm zusammengefaßt werden und diese gesamten Berechnungen können

dank der modernen Rechentechnik für eine Anzahl von Alternativen wiederholt werden. So könnte zum Beispiel ein brauchbares Urteil über das statistische Verhalten von zwei oder mehr verschiedenen Entwürfen gewonnen werden. Ein solches Rechenprogramm wurde am Institut für Schiffbau ausgearbeitet.

4) Schlußwort. Vielleicht ist das Referat zu optimistisch gehalten. Die zweifellos vorhandenen Lücken und eventuellen Fehlerquellen in der Behandlung der besprochenen Fragen sind nicht erwähnt. Der Verfasser ist sich durchaus im klaren, daß es solche Lücken gibt und daß auch auf diesem Gebiet von der Forschung noch Arbeiten geleistet werden müssen. Das Ziel des Referates war es aber nicht, diese Lücken herauszustellen, sondern auf die schon gegebenen Möglichkeiten hinzuweisen. Schließlich darf erwähnt werden, daß die statistischen Daten, die als Endziel bei der Behandlung des Themas angesehen werden, immer von unserer Kenntnis der auf den Ozeanen vorkommenden Seegänge abhängen werden, daß diese Kenntnis sicher noch erweitert werden muß, daß sie aber andererseits immer etwas unscharf bleiben wird.

Schrifttum:

- [1] Ursell, F.: "On the heaving motion of a circular cylinder on the surface of a fluid!"; Quart. Journal Mech. Appl. Math. 2 (1949), 218-231.
- [2] Porter, W.R.: "Pressure distributions, added mass and damping coefficients for cylinders oscillating in a free surface!"; University of California, Institute of Engineering Research, Ser.No.82, Issue No.16, July 1960.
- [3] Tasai, F.: "On the damping force and added mass of ships heaving and pitching!"; Kyushu University, Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Vol.VII, No.26, 1959 and Vol.VIII, No.29, 1960 ("Measurements of the wave height ...")
- [4] Grim, O.: "Berechnung der durch Schwingungen eines Schiffskörpers erzeugten hydrodynamischen Kräfte", Jahrb. d. STG, 1953.
- [5] Grim, O.: "A method of a more precise computation of heaving and pitching shipmodel in still water!"; Third Symposium on Naval Hydrodynamics, Scheveningen 1960.
- [6] Watanabe, Y.: "On the theory of pitch and heave of a ship!"; Technology reports of the Kyushu University, Vol.31, No.1, 1958.
- [7] Korvin-Kroukovsky, B.V. and Jacobs, W.R.: "Pitching and heaving motions of a ship in regular waves!"; Trans. SNAME, Vol.65, 1957. Siehe auch Korvin-Kroukovsky: "Theory of seakeeping", SNAME Publications 1961.
- [8] Gerritsma, J. and Beukelman, W.: "Comparison of calculated and measured heaving and pitching motions in a series 60, $c_B = 0.70$ ship model in regular longitudinal waves", Technische Hogeschool Delft, Report No.139, 1966.
- [9] Gerritsma, J. and Beukelman, W.: "The distribution of the hydrodynamic forces on a heaving and pitching ship model in still water", Technische Hogeschool Delft, Report No.22, 1964.

- [10] Lotveit, M. and Haslum, K.: "Comparison between calculated and measured wave bending moments, shearing forces and pitching motion for a T2-tanker model in regular waves", Det Norske Veritas, Rep.No.64-34-5.
- [11] International Towing Tank Conference, 11th Conference. Tokio 1966, Rep. of Seakeeping Committee.
- [12] St.Denis, M. and Pierson, W.J.: "On the motions of ships in confused seas", Trans. SNAME, Vol. 61.
- [13] Bartsch, H.: "Statistische Methoden zur Untersuchung der Bewegungen eines Schiffes im Seegang", Schiffstechnik Bd.6, Heft 30 (1959).
- [14] Keil, H.: "Über die Bestimmung von Spektren des Seegangs und der Schiffsbewegungen", Schiffstechnik Bd. 11 Heft 59 (1964).
- [15] Proceedings 2nd International ship structures congress 1964, Delft, Vol. I, Seiten 15 bis 118.
- [16] Ochi, M.K.: "Extreme behaviour of a ship in rough seas-slamming and shipping of green water", Trans. SNAME, Vol.72, 1964.
- [17] Abkowitz, M.A., Vassilopoulos, L.A. and Sellars, F.H.: "Recent developments in seakeeping research and its application to design", SNAME Meeting 1966.

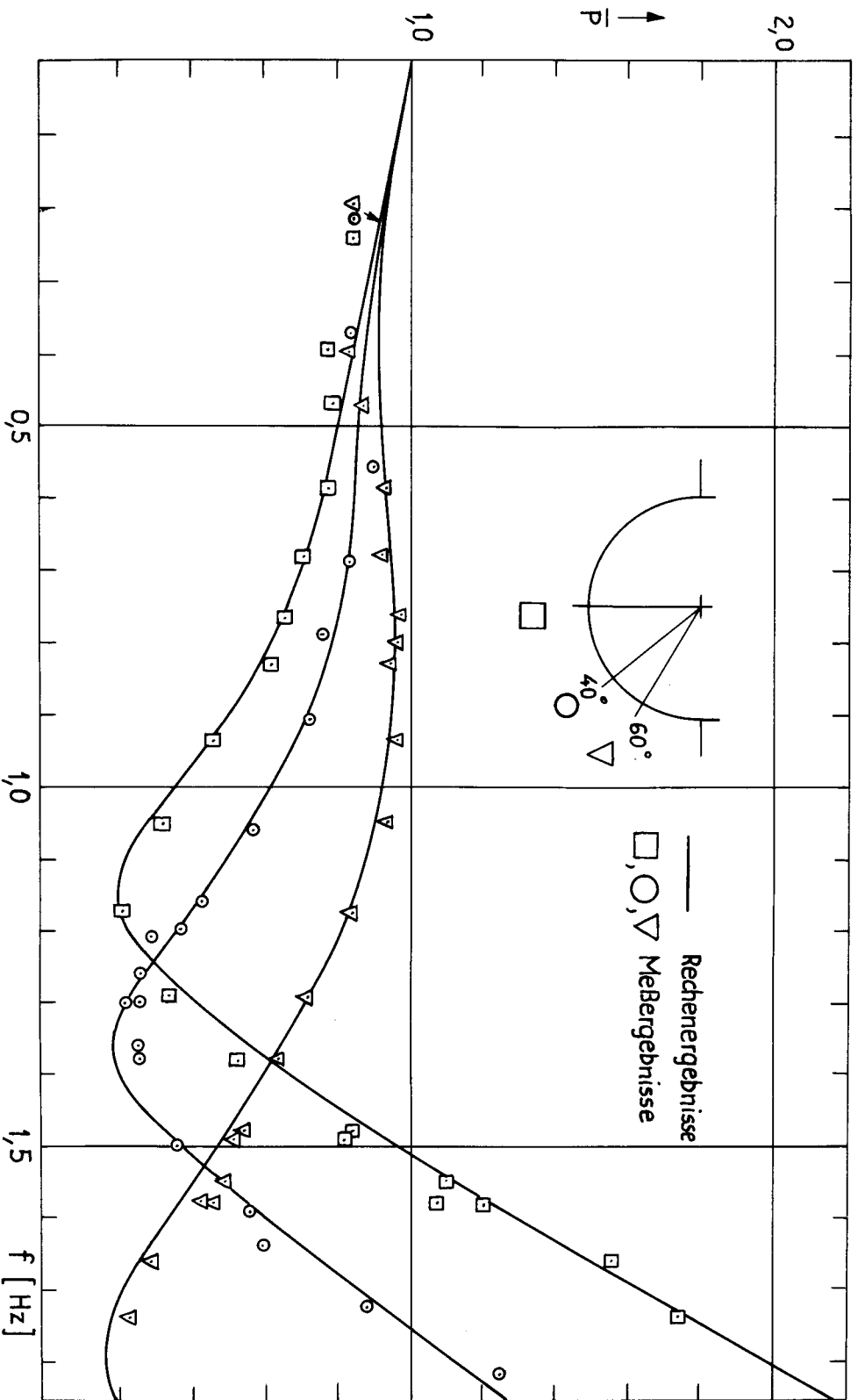


Bild 1 Hydrodynamischer Druck verursacht durch eine Tauchbewegung
 (Porter [2])

Seite 11/11

11

11

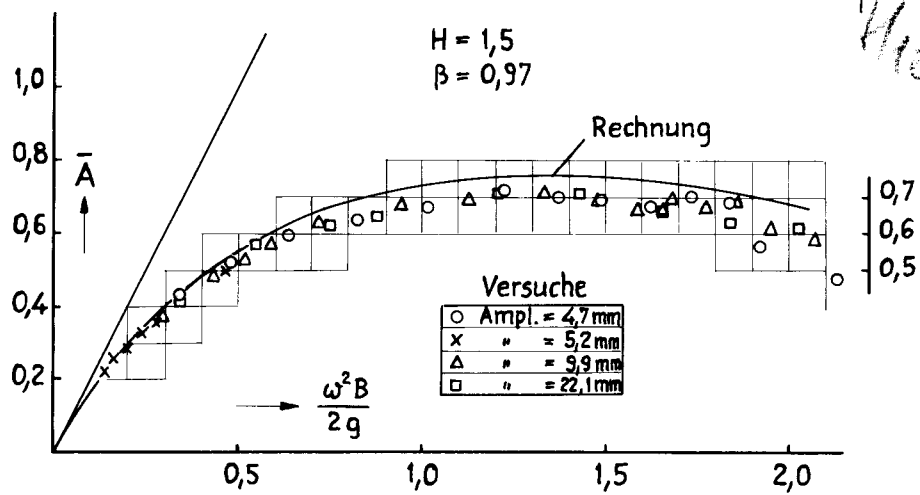


Bild 2 Amplituden der durch eine Tauchbewegung erzeugten Wellen (Tasai [3])

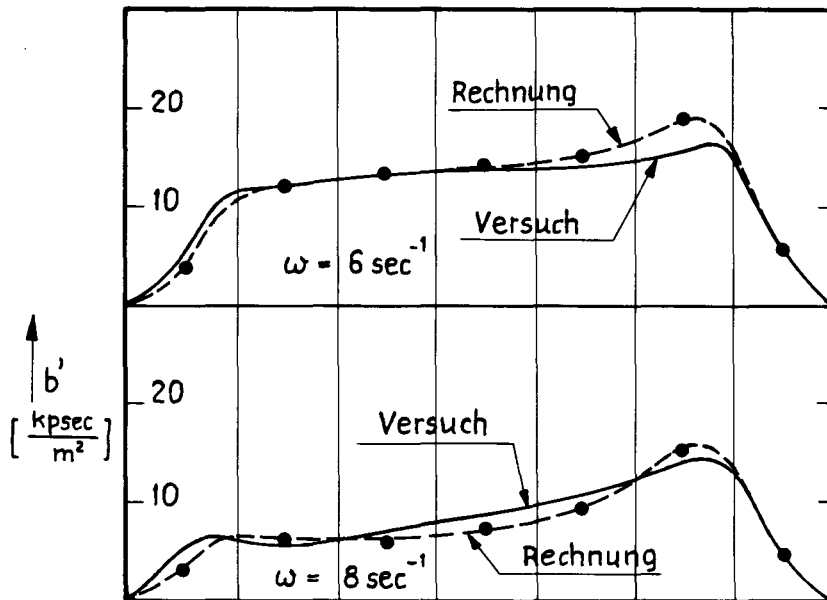
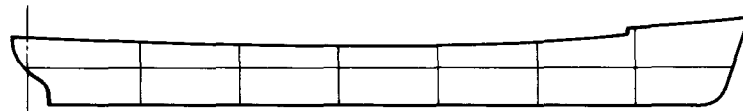
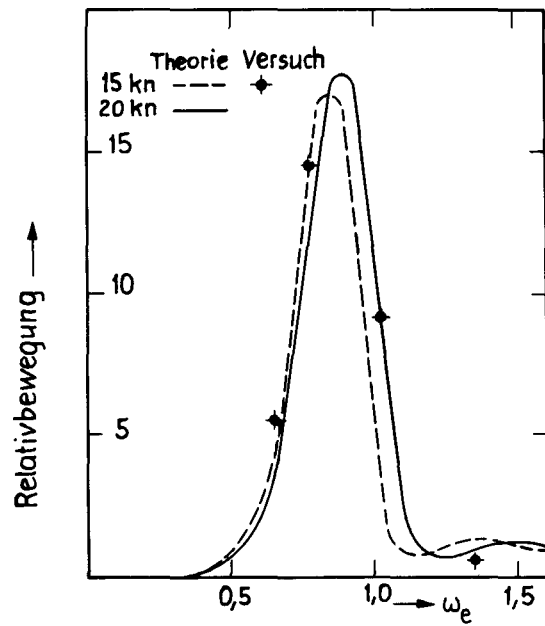


Bild 3 Verteilung der hydrodynamischen Dämpfungskraft verursacht durch eine Tauchbewegung (Gerritsma [9])



21

Bild 4 Übertragungsfunktion (Abkowitz [19])

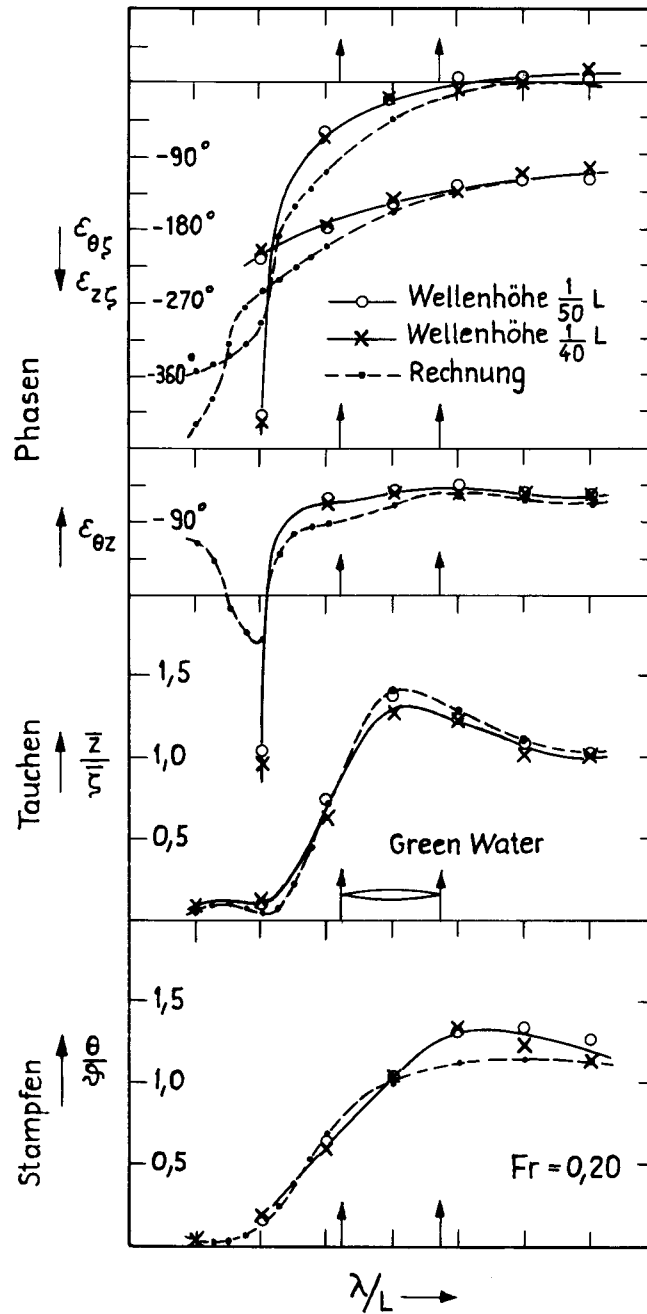


Bild 5 Übertragungsfunktion (Gerritsma [8])

6/10

0034

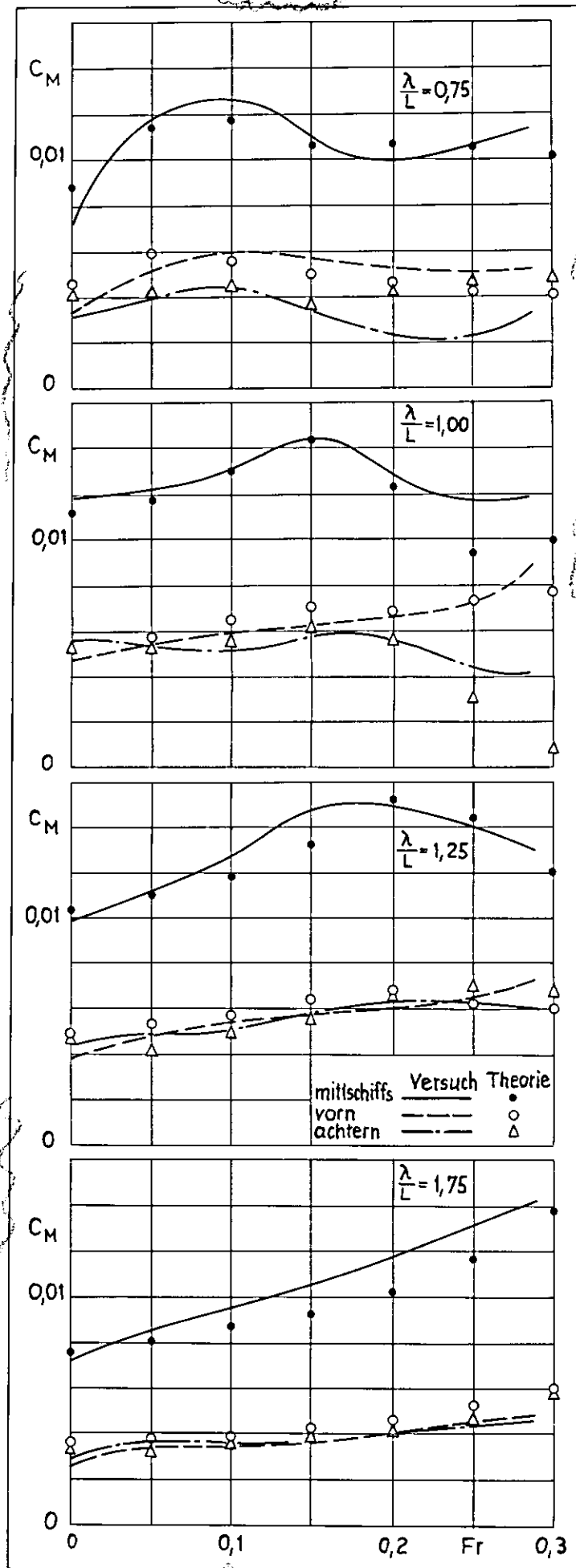


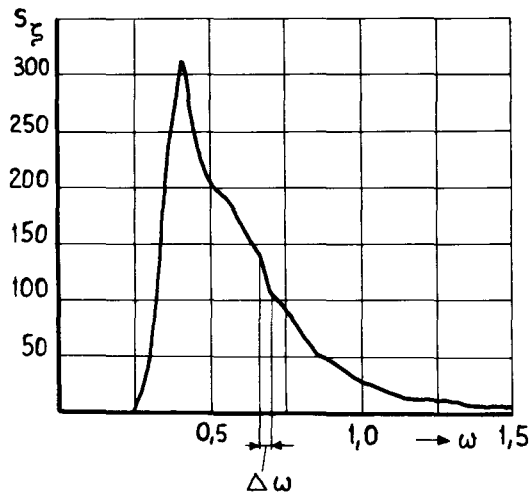
Bild 6 Biegemoment (Lötveit und Haslum [11])

Bild 7a Comparison of Calculated Motions
Relative Bow Motion

Froude No.	λ/L	NPL	Lyngby	M.I.T.	Hamburg	NSMB Watanabe	NSMB Vossers	Goteburg	Nagasaki T.I.	Modified Nagasaki
0.2	0.5	1.00	1.01	1.02	1.02	1.02	1.14	1.00	1.02	-
0.2	0.6	1.12	0.78	1.15	1.07	1.16	1.36	1.06	1.12	1.11
0.2	0.7	0.97	1.03	0.95	0.94	0.98	1.18	0.86	0.95	0.95
0.2	0.8	0.86	0.72	0.89	1.08	0.88	1.20	0.85	0.94	0.93
0.2	0.9	1.65	2.78	1.83	1.98	1.78	2.02	1.83	1.80	1.82
0.2	1.1	3.88	4.89	3.70	4.07	3.94	4.01	4.22	3.87	3.95
0.2	1.3	4.11	5.06	4.02	4.08	4.18	4.54	4.16	4.12	3.88
0.2	1.5	3.31	4.45	3.28	3.16	3.30	3.48	3.22	3.26	2.98
0.2	1.7	2.52	3.74	2.51	2.36	2.50	2.66	2.40	2.47	2.24
0.2	2.0	1.57	3.16	1.74	1.63	1.72	1.84	1.63	1.72	1.55

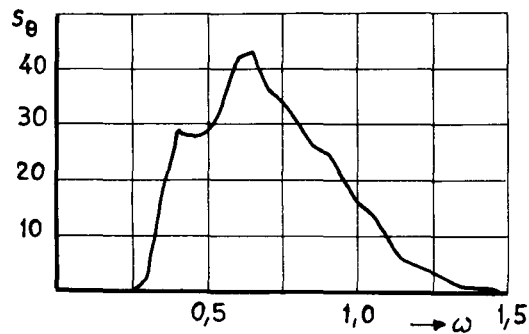
Bild 7b Comparison of Calculated Motions
Bending Moment

Froude No.	λ/L	Lyngby	M.I.T.	Hamburg	NSMB Watanabe	NSMB Vossers	Nagasaki T.I.
0.2	0.5	0.0100	0.0031	0.0018	0.0033	0.0203	0.0020
0.2	0.6	0.0090	0.0087	0.0113	0.0080	0.0054	0.0077
0.2	0.7	0.0170	0.0162	0.0174	0.0153	0.0082	0.0145
0.2	0.8	0.0228	0.0194	0.0189	0.0191	0.0121	0.0183
0.2	0.9	0.0238	0.0182	0.0155	0.0195	0.0108	0.0187
0.2	1.1	0.0181	0.0168	0.0181	0.0146	0.0082	0.0144
0.2	1.3	0.0130	0.0181	0.0220	0.0123	0.0127	0.0123
0.2	1.5	0.0094	0.0136	0.0164	0.0089	0.0123	0.0089
0.2	1.7	0.0070	0.0105	0.0130	0.0068	0.0107	0.0071
0.2	2.0	0.0056	0.0079	0.0101	0.0052	0.0083	0.0055



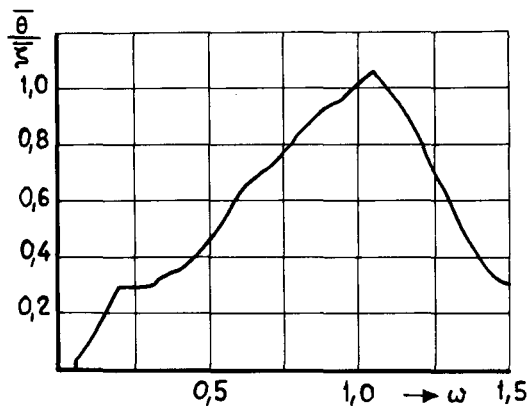
2/3

Bild 8a Seegangsspektrum



2/3

Bild 8b Stampfspektrum



2/3

Bild 8c Übertragungsfunktion

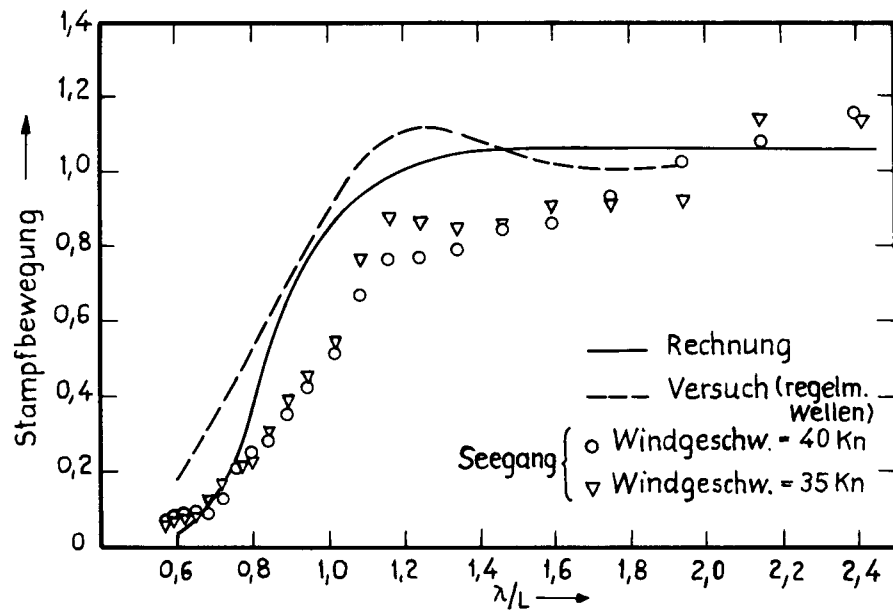


Bild 9 Übertragungsfunktion (Abkowitz [19])

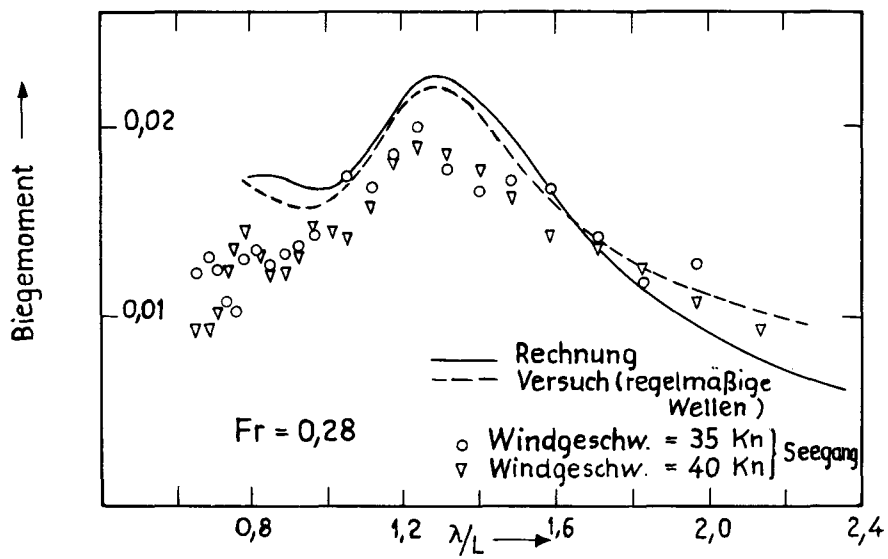


Bild 10 Übertragungsfunktion (Abkowitz [17])

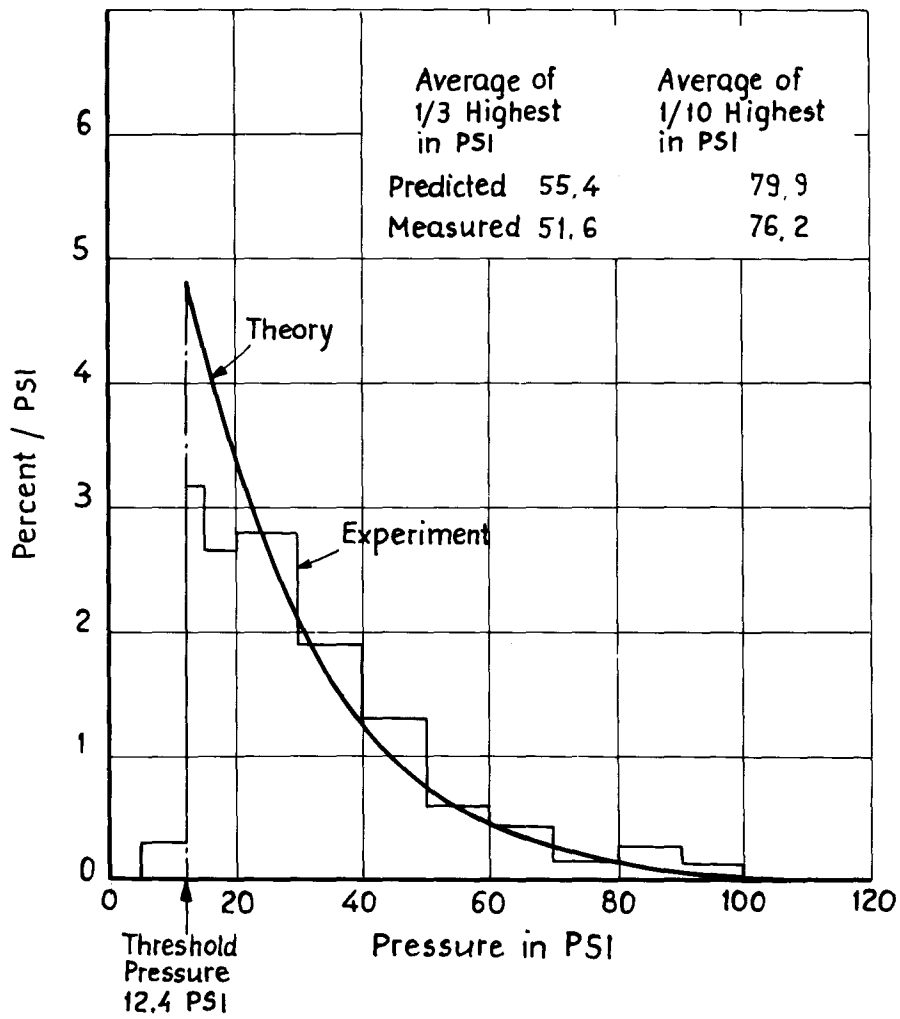


Bild 11 Comparison between experimentally obtained histogram and predicted probability density function; moderate Sea State 7, ship speed 10 knots, light draft (Ochi [19])

Bild 12 AREA 1b

12

PERIOD - HEIGHT

P \ H	<1 1/2	1 1/2-<3	3-<4 1/2	4 1/2-<6	6-<8	>8	TOTAL
<7	27.4	26.3	3.6	.6	.2	0.1	58.3
>7-9	1.9	12.1	4.9	1.2	.5	.2	20.9
>9-11	.7	4.6	4.1	1.1	.7	.2	11.4
>11-13	.2	1.2	1.7	.7	.5	.2	4.5
>13-15	.1	.4	.6	.3	.2	.1	1.7
>15	.9	.3	.3	.2	.1	.1	1.9
TOTAL	31.2	45.0	15.3	4.1	2.2	.9	98.7

CALM 1.3 NUMBER OBS. 293,557

* indicates < 0,05 percent

DIRECTION - HEIGHT (meters)

D \ H	<1 1/2	1 1/2-<3	3-<4 1/2	4 1/2-<6	6-<8	>8	TOTAL
N	4.0	5.3	1.7	.4	.2	.1	11.7
NE	2.7	3.2	.9	.2	.1	*	7.2
E	2.9	2.9	.7	.2	.1	*	6.8
SE	2.4	2.4	.6	.1	.1	*	5.6
S	5.3	6.0	1.6	.3	.2	.1	13.5
SW	5.3	7.2	2.3	.6	.3	.1	15.8
W	6.0	10.0	4.3	1.3	.7	.4	22.8
NW	4.0	6.9	2.8	.8	.4	.2	15.3
TOTAL	32.7	44.1	14.9	3.9	2.1	1.0	98.7

CALM 1.3 NUMBER OBS. 309,253

DIRECTION - PERIOD (seconds)

D \ P	<7	>7-9	>9-11	>11-13	>13-15	>15	TOTAL
N	7.0	2.6	1.5	.6	.2	.3	12.2
NE	4.7	.9	.7	.3	.1	.1	6.8
E	4.7	1.3	.6	.2	.1	.2	7.1
SE	4.0	1.0	.5	.2	*	.1	5.8
S	9.3	2.6	1.3	.4	.2	.3	14.0
SW	10.0	3.4	1.7	.6	.3	.3	16.3
W	9.5	5.5	3.2	1.4	.6	.4	20.7
NW	8.0	3.7	2.3	1.0	.4	.3	15.7
TOTAL	57.2	21.0	11.8	4.7	1.9	2.0	98.6

CALM 1.4

NUMBER OBS. 282,455

Bild 13 :

Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten der Beschleunigung im Nordatlantik in Prozent
an bestimmten Stellen des Schiffes

9/20

L	δ	L/B	L/T	I/L	F	Beschl.	1	2	3	5	10
100	0.6	5.5	11.0	0.2182	0.00	AUF 0.00L	3.27776	0.41868	0.06557	0.00123	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2182	0.00	AUF 0.30L	0.27262	0.00303	0.00001	0.00000	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2182	0.00	AUF 0.70L	0.83444	0.03689	0.00122	0.00000	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2390	0.00	AUF 0.00L	4.19196	0.63063	0.11786	0.00393	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2390	0.00	AUF 0.30L	0.34557	0.00548	0.00003	0.00000	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2390	0.00	AUF 0.70L	1.22196	0.07645	0.00447	0.00000	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2182	0.00	AUF 0.443L	0.05023	0.00002	0.00000	0.00000	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2390	0.00	AUF 0.438L	0.05526	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2182	0.10	AUF 0.00L	9.21870	2.61142	0.83489	0.10683	0.00046
100	0.6	5.5	11.0	0.2182	0.10	AUF 0.30L	2.86093	0.34503	0.04941	0.00066	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2182	0.10	AUF 0.70L	3.85242	0.58687	0.10715	0.00299	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2390	0.10	AUF 0.00L	8.52339	2.28730	0.70840	0.08295	0.00022
100	0.6	5.5	11.0	0.2390	0.10	AUF 0.30L	2.71405	0.31923	0.04396	0.00051	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2390	0.10	AUF 0.70L	5.09107	0.95152	0.21292	0.01103	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2182	0.10	AUF 0.473L	1.46678	0.11037	0.00781	0.00001	0.00000
100	0.6	5.5	11.0	0.2390	0.10	AUF 0.432L	1.91561	0.17725	0.01744	0.00007	0.00000

Bild 14 :

Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten des Biegemomentes im Hauptspant in Prozent bei der Fahrt im Nordatlantik.

$L = 100\text{m}$ $J = 0.6$ $L/B = 7$ $I/L = 0.25$ $F = 0$

91/20

Biegemoment im Hauptspant (dimensionslos) $M/9gL^2BT$	Wahrscheinlichkeit in Prozent mit der der links stehende Momenten- wert erreicht oder über- schritten wird.
$6 \cdot 10^{-3}$	0.2134
$8 \cdot 10^{-3}$	0.0501
$10 \cdot 10^{-3}$	0.0111
$12 \cdot 10^{-3}$	0.0022
$14 \cdot 10^{-3}$	0.0004
$16 \cdot 10^{-3}$	0.0001