

162 | Juni 1966

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

H. Keil und H. Thiemann

**Messung der Schiffsbewegungen auf
dem Lotsenschiff „Kommodore
Ruser“ im Frühsommer 1965**

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 162

Messung der Schiffsbewegungen auf dem Lotsenschiff

"Kommodore Ruser" im Frühsommer 1965.

von

Harald Keil

und

Hans Thiemann

Hamburg, Juni 1966

A. Einleitung:

Die im Auftrage des Bundesverkehrsministeriums von der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFL) Stuttgart durchzuführenden Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeiten von Hubschraubern für hoheitliche Aufgaben im Küstengebiet schließen Landeversuche auf dem Lotsenschiff 'Kommodore Ruser' auf dessen Station in der Elbmündung beim Feuerschiff 'Elbe I' ein. Dabei soll festgestellt werden, unter welchen Bedingungen eine Landung nicht mehr möglich ist. Den Ausschlag dafür werden neben einigen meteorologischen Einflüssen wie Sicht, Windgeschwindigkeit und Böigkeit die Bewegungen des Schiffes geben. Deshalb sollen während der gesamten Erprobungszeit von einem Jahr die Schiffsbewegungen alle drei Stunden gemessen werden. Zu diesem Zweck wurde das Institut für Schiffbau der Universität Hamburg (IfS), das über eine leistungsfähige Anlage zur Messung der Schiffsbewegungen verfügt, an dem Vorhaben beteiligt.

Bei der Länge der Einsatzzeit ist es nicht möglich, die Anlage manuell zu bedienen, da sich hierfür ein Angehöriger des IfS ständig an Bord befinden müßte. Es mußte daher eine Anlage entworfen und gebaut werden, die eine wartungsfreie automatische Erfassung der Meßwerte erlaubt. Zu den Vorbereitungen für diese automatische Datenerfassungsanlage gehört vornehmlich die Bestimmung der Maximalwerte der einzelnen Bewegungen des Schiffes, die während des Einsatzes auftreten. Die Kenntnis dieser Werte ist von großer Bedeutung, da danach die Meßbereiche der Instrumente gewählt werden sollen.

Diese Werte wurden während einiger Messungen auf dem Lotsenschiff im Frühsommer 1965 ermittelt. Ziel dieser Messungen war neben der Bestimmung der Maximalwerte zu zeigen, inwieweit es sinnvoll ist, auf Seegänge in der Deutschen Bucht, wo Kreuzseen vorherrschen, die Methoden für langkämmigen Seegang anzuwenden, bzw. welche Größen man anstelle der Spektren als charakteristisch für die angetroffenen Bedingungen angeben kann. Die Ergebnisse sollen in diesem Bericht dargestellt und die theoretischen Grundlagen angegeben werden. Außerdem wird die Meßanlage in der derzeitigen Form kurz beschrieben.

B. Theoretische Grundlagen:

1. Voraussetzung für die Behandlung des natürlichen Seegangs ist, daß er stationär ist, d.h. daß die vom Wind zugeführte Energie gleich der dissipierten ist, es sich also um einen vollentwickelten Seegang handelt. Er wird als Summe vieler harmonischer Elementarwellen mit Frequenzen zwischen 0 und ∞ und Laufrichtungen von 0 bis 2π dargestellt. Die Phasen dieser einzelnen Komponenten sind zufällig und können mit gleicher Wahrscheinlichkeit alle Werte zwischen 0 und 2π annehmen. Für die Erhebungen der Wasseroberfläche an einem bestimmten Punkt P mit den Koordinaten x und y als Funktion der Zeit t, die sogenannte Seegangsfunktion, ergibt sich daraus

$$\zeta_P(t) = \zeta(x; y; t) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M c_{nm} \cdot \cos \left[2\pi f_n t - \frac{(2\pi f_n)^2}{g} (x \cdot \cos \chi_m - y \cdot \sin \chi_m) + \epsilon_{nm} \right] \quad (1)$$

Dieser Seegang besteht aus N · M Elementarwellen, f_n sind die Frequenzen und c_{nm} die Amplituden der Elementarwellen, ferner χ_m die Winkel zwischen der x-Achse und der Laufrichtung der Elementarwellen und ϵ_{nm} die Zufallsphasen. Die Nulllinie von $\zeta(t)$ ist dabei so gewählt, daß der Mittelwert über der Zeit gleich Null ist, also

$$\bar{\zeta}_P = \frac{1}{T} \int_0^T \zeta_P(t) \cdot dt = 0 \quad (2)$$

Die Zeit T soll möglichst groß sein, so groß, wie es die Forderung, daß der Seegang stationär bleibt, erlaubt.

Die Behandlung dieses dreidimensionalen Seegangs ist recht schwierig, da zwei Parameter, die Frequenz f_n und die Richtung χ_m , eine Rolle spielen. Man beschränkt sich deshalb normalerweise auf eine zweidimensionale Betrachtung, d.h. man nimmt an, daß alle Wellen langkämmig sind und in der gleichen Richtung, der Richtung x, laufen, so daß man für die Seegangsfunktion erhält:

$$\zeta_p(t) = \zeta(x;t) = \sum_{n=1}^N c_n \cdot \cos \left[2\pi f_n t - \frac{(2\pi f_n)^2}{g} x + \varepsilon_n \right] \quad (3)$$

Trägt man die halben Quadrate der Amplituden c_n dividiert durch das Frequenzintervall $\Delta f = f_n - f_{n-1}$ über der Frequenz auf, so erhält man das sogenannte Seegangsspektrum

$$S(f_n) = \frac{1}{2} \cdot \frac{c_n^2}{\Delta f_n} \quad (4)$$

Das Spektrum ist eine nichtnegative Funktion und hat die Dimension $m^2 \text{sec}$. Man nennt es auch Energiespektrum, da es die Verteilung der im Seegang enthaltenen Energie über den Frequenzbereich angibt. Die mittlere Energie je Oberflächeneinheit ergibt sich aus dem Integral über das Spektrum.

$$E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{S \cdot g}{2T} \int_0^T \zeta^2(t) dt = \frac{S \cdot g}{2} \overline{\zeta^2} = \frac{S \cdot g}{2} \int_0^\infty S(f) df = \frac{S \cdot g}{2} \cdot m_0 \quad (5)$$

Das Spektrum enthält zwar keine Information über die Phasen der einzelnen Elementarwellen, reicht aber für die statistische Beschreibung des Seegangs aus. An allen Punkten P_1, P_2, \dots, P_n eines Gebietes, in dem der gleiche Seegang herrscht, ist das Spektrum gleich, obwohl die Seegangsfunktionen an diesen Punkten $\zeta_1(t), \zeta_2(t), \dots, \zeta_n(t)$ völlig verschiedenes Aussehen haben können und im Normalfall auch haben. Eine Reihe statistischer Eigenschaften sind ihnen allen jedoch gemeinsam. So sind, und das ist die Voraussetzung für das Folgende, alle Werte, jedenfalls näherungsweise, normalverteilt mit dem Mittelwert Null und der Streuung

$$\sigma = \sqrt{m_0} = \sqrt{\int_0^\infty S(f) df} \quad (6)$$

Die Wahrscheinlichkeit, daß die Wellenerhebung zu einer beliebigen Zeit t_1 zwischen den Werten a und b liegt, ist für alle Punkte gleich, und zwar

$$W[a \leq \zeta(t_1) \leq b] = \frac{1}{\sqrt{2\pi m_0}} \cdot \int_a^b \exp\left[-\frac{x^2}{2m_0}\right] \cdot dx \quad (7)$$

Weitere wichtige Aussagen, die mit Hilfe des Spektrums bzw. der Streuung der Verteilung gemacht werden können, sind die Angaben über die Wahrscheinlichkeit, mit der Maxima von bestimmter Höhe auftreten, über Zahl und mittleren Abstand der Nullstellen, wahrscheinlichste Maxima, Mittelwert der p% höchsten Maxima etc. Vielfach wird eine für den betreffenden Seegang "kennzeichnende Wellenhöhe" angegeben. Das ist der doppelte Mittelwert der 33% höchsten Maxima. Er beträgt $H_{1/3} = 4,0 \cdot \sqrt{m_0}$.

2. Für die Schiffsbewegungen gilt das Gleiche wie für die Wellenbewegung. Man kann für jede Komponente der Schiffsbewegung ein Spektrum bestimmen und die entsprechenden Aussagen machen.

Sehr wichtig ist, daß man aus den Bewegungsspektren und dem zu gleicher Zeit ermittelten Seegangsspektrum die Übertragungs- oder Einflußfunktion $F(f) = |F(f)| \cdot \exp [i\alpha(f)]$ für die einzelnen Komponenten wie für eine harmonische Bewegung und Erregung berechnen kann. Umgekehrt kann man, wenn die Funktion $F(f)$ durch Modellversuche in regelmäßigen Wellen oder unregelmäßigem Modellseegang bestimmt sind, die Bewegungsspektren für einen durch das Seegangsspektrum gegebenen natürlichen Seegang berechnen. Es gilt nämlich

$$|F(f)| = \sqrt{\frac{S_{yy}(f)}{S_{ss}(f)}} \quad (8)$$

wenn $S_{yy}(f)$ das Bewegungsspektrum, z.B. das Stampfspektrum, und $S_{ss}(f)$ das Seegangsspektrum bedeuten. Zur Bestimmung der Phasen $\alpha(f)$ zwischen der Bewegung und dem Seegang benötigt man noch das sogenannte Kreuzspektrum $S_{ys}(f)$, das eine komplexe Funktion ist:

$$S_{ys}(f) = C_{ys}(f) - iQ_{ys}(f) \quad (9)$$

Damit ergibt sich für den Betrag der Übertragungsfunktion

$$|F(f)| = \frac{|S_{\gamma\delta}(f)|}{S_{\delta\delta}(f)} = \frac{\sqrt{C_{\gamma\delta}^2(f) + Q_{\gamma\delta}^2(f)}}{S_{\delta\delta}(f)} \quad (10)$$

und für die Phase

$$\alpha(f) = \arctg - \frac{Q_{\gamma\delta}(f)}{C_{\gamma\delta}(f)} \quad (11)$$

$C_{\gamma\delta}(f)$ heißt Kospektrum und $Q_{\gamma\delta}(f)$ Quadratspektrum. Wichtig ist noch der Zusammenhang zwischen dem Spektrum einer Bewegung und den Spektren von deren Ableitungen:

$$S_{\gamma\gamma}(f) = \frac{1}{(2\pi f)^2} \cdot S_{\dot{\gamma}\dot{\gamma}}(f) = \frac{1}{(2\pi f)^4} \cdot S_{\ddot{\gamma}\ddot{\gamma}}(f) \quad (12)$$

Werden die Bewegungen eines Schiffes bei Fahrt gemessen, so tritt anstelle der Frequenz die Bewegungsfrequenz

$$f_e = f - \frac{2\pi \cdot v \cdot \cos \chi}{g} \cdot f^2, \quad (13)$$

und das Seegangsspektrum muß auf die Bewegungsfrequenz umgerechnet werden. Es bedeuten

v = Schiffsgeschwindigkeit

χ = Winkel zwischen Kurs und Wellenlaufrichtung.

C. Meßeinrichtung:

In dem im Zwischendeck zwischen Spt. 18 und Spt. 22 befindlichen Lotsenschlafraum (Abb.1) ist nach Ausbau des Inventars die Anlage zur Messung und Registrierung der Schiffsbewegungen installiert, die in Zusammenarbeit des Instituts für Schiffbau Hamburg und der AEG-Schiffbau entwickelt wurde. Das Blockschaltbild zeigt Abb.2.

Auf

Auf einer in zwei Achsen kreiselstabilisierten Plattform (Abb.3), deren Längsachse mit der des Schiffes zusammenfällt, ist in den drei Achsen je ein linearer Beschleunigungsmesser befestigt, von denen der vertikale mit einem Meßbereich von 0,5 g erdfeldkompensiert ist. ^{x)} Daraus erhält man die Beschleunigungen des Aufstellungsortes der Plattform (ca. Spt.21) in den drei Achsen. Die Winkel der Plattform gegen das Schiff, die den Roll- bzw. St Stampfwinkel bedeuten, werden durch zwei Potentiometer an den Drehpunkten der kardanischen Aufhängung gemessen. Zur Plattform gehört ein Steuergerät, das den 400 Hz-Generator für den Kreisel und die Elektronik für die Speisung der Potentiometer und der Beschleunigungsgeber sowie die Erdfeldkompensation enthält.

Zur Bestimmung der Wellenhöhe relativ zum Schiff sind im Vorschiff auf Spt. 77 1/2 ca. 2200 mm über Basis an Backbord- und Steuerbordseite je eine Druckmeßdose angebracht und mit einer Meßleitung mit der Lotsenkammer verbunden. Die absolute Wellenhöhe, also der Seegang, ergibt sich aus der Summe der Schiffsbewegungen am Punkt D (wo die Druckdosen liegen) und der Wellenhöhe relativ zum Schiff an diesem Punkt.

Alle Meßwerte, die Drücke nach einer Verstärkung und Mittelwertbildung zwischen *Stb.* und *Bb.*, laufen in einer Meßzentrale (Abb.4) zusammen. Diese Zentrale enthält einen Zweikanal-Direktschreiber, auf dem durch Knopfdruck jeder beliebige Meßwert zur Anzeige gebracht werden kann. Dies ist notwendig, um Meßbereiche festzulegen und die Funktion der Geber zu kontrollieren. Außerdem enthält sie für jede Meßstelle einen Meßbereichschalter.

Von der Zentrale laufen alle Meßwerte zum Registriergerät, einem hochwertigen Meßmagnetbandgerät mit Frequenzmodulationsaufzeichnung. Parallel zu diesem kann jeder Meßwert ebenfalls durch Knopfdruck auf einen kleinen Analogrechner (Abb.5) geschaltet werden, in dem der lineare Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot dt$$

x) Abb.2 zeigt auf der Plattform einen Kurskreisel anstelle der Beschleunigungsmesser.

und der auf den linearen Mittelwert bezogene quadratische Mittelwert

$$m_0 = \overline{x_b^2} = \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - \bar{x}]^2 dt$$

berechnet werden. Damit der Meßwert durch den endlichen Eingangswiderstand des Rechners nicht verfälscht wird, sind, wenn der Rechner nicht arbeitet, Ersatzwiderstände parallelgeschaltet, die dem Eingangswiderstand des Rechners entsprechen. Der Rechner enthält drei Rechenkanäle, so daß drei Meßwerte gleichzeitig verarbeitet werden können. Die Integrationszeit ist einstellbar, im Normalfall wird jedoch mit 10 Min. gearbeitet, da in dieser Zeit die Nullpunktdrift des Integrationsverstärker noch vernachlässigbar ist. Die Werte \bar{x} und m_0 werden an Anzeigeinstrumenten abgelesen.

Zur Aufstellung der Geräte wurde aus Stahlwinkelprofilen ein im Grundriss U-förmiges Regal gebaut, das gegen die Kammerwände verkeilt ist. Die Geräte sind darauf angeschraubt bzw. verzurrt.

Die Versorgung der Anlage mit Wechselstrom 50 Hz 220 V erfolgt über zwei von der MES-Schalttafel in die Kammer geführte Netzkabel.

Um die Vibrationen des Schiffskörpers, die bei voller Fahrt auf 'Kommodore Ruser' beträchtlich sind, von der Plattform fernzuhalten, ist die gesamte Plattform über eine Schaumstoffmatte mit dem Fußboden in der Kammer verbunden. Diese Matte ist nicht so weich, daß die Plattform schwingt, sondern soll im wesentlichen dämpfen. Außerdem ist die Platte, auf der die Beschleunigungsmesser montiert sind, mit den Kardanrahmen noch einmal elastisch verbunden. Die Eigenfrequenz dieses Systems ist durch große Masse der Platte und relativ geringe Steifigkeit der Gummielemente im Verhältnis zur Frequenz der erregenden Störungen klein gehalten. Dies ist notwendig, da durch das Ansprechen der Servomotoren die die Plattform jeweils in den Horizont stellen, sonst Störungen dem Meßwert überlagert würden.

Die Genauigkeit der Geber und der gesamten Meßkette kann man als gut bezeichnen. Die Fehler der Druckgeber und des Registriergerätes liegen unter 1%, die der Beschleunigungsgeber bei 0,15%. Lediglich die Auflösung der Potentiometer ist mit 0,15° etwas gering, doch ließe sie sich durch Verwendung anderer Potentiometer leicht erhöhen.

Bei den niedrigen Frequenzen treten in der Beschleunigungsmessung naturgemäß Fehler dadurch auf, daß der Geber nur zu einem Teil angesteuert ist (z.B. bei einer Frequenz von 0,07 Hz - das entspricht bei ruhendem Schiff einer Wellenlänge von 300 m - und einer Tauchamplitude von 0,5 m beträgt der Fehler in der Tauchbeschleunigung 7%).

Die Fehler, die bei der Berechnung des Seegangsspektrums dadurch entstehen, daß man den Druck als Maß für die Wellenhöhe relativ zum Schiff in die Rechnung einführt, sind nicht abzuschätzen, sondern nur durch eine Vergleichsmessung zu bestimmen. Sie können beträchtlich sein; denn es muß mit einer hydrostatischen Druckverteilung und einer mittleren Laufrichtung der Elementarwellen gerechnet werden. Es werden also die hydrodynamische Druckverteilung in dem Seegang, die Deformation des Seegangs durch das Schiff und die verschiedenen Laufrichtungen der Elementarwellen vernachlässigt; zum anderen spielen weitere hydrodynamische Einflüsse durch die bei der Bewegung des Schiffes an dem Druckgeber auftretenden Geschwindigkeiten und Beschleunigungen eine Rolle. Selbstverständlich dürfen in den Meßgeräten keine unbekannt Phasen auftreten, da bei der Zusammensetzung des Seegangsspektrums schon geringe Phasen Fehler bringen.

D. Bestimmung des Seegangsspektrums aus der Schiffsbewegung:

Die Seegangsfunktion setzt sich zusammen aus der Vertikalbewegung eines Punktes D des Schiffes und der Wellenhöhe relativ zum Schiff an diesem Punkt D. Da die Wellen durch das Schiff

beeinflusst werden, muß dieser Punkt an den Schiffsenden liegen, wo der Seegang vermutlich wenig durch das Schiff deformiert ist.

Mit Abb.6 ergibt sich für die Seegangsfunktion:

$$\begin{aligned} \zeta(t) &= z(t) + h_G(t) - h_T(t) \\ &= z(t) + h_G(t) - h_0 \cos \psi'(t) - [e^{-(H_M - T)} \cdot \operatorname{tg} \frac{\psi'(t)}{2}] \cdot \sin \psi'(t) \\ &= z(t) + h_G(t) - h_0 \cos \psi'(t) - e \cdot \sin \psi'(t) + (H_M - T) [1 - \cos \psi'(t)] \\ &= z(t) + h_G(t) - h_0 - e \cdot \sin \psi'(t) + (H_M - H_D) [1 - \cos \psi'(t)] \end{aligned}$$

Mit $h_G(t) - h_0 = h(t)$ ergibt sich:

$$\zeta(t) = z(t) + h(t) - e \cdot \sin \psi'(t) + (H_M - H_D) [1 - \cos \psi'(t)] \quad (14)$$

Da $\psi'(t)$ ein kleiner Winkel ist, erhält man:

$$\zeta(t) = z(t) + h(t) - e \cdot \psi'(t) \quad (14a)$$

Damit ergibt sich für das Seegangsspektrum:

$$S_{\zeta\zeta}(f) = S_{zz}(f) + S_{hh}(f) + e^2 S_{\psi\psi}(f) + 2C_{zh}(f) - 2e C_{z\psi}(f) - 2e C_{h\psi}(f) \quad (15)$$

$$= \frac{1}{(2\pi f)^4} S_{zz}(f) + S_{hh}(f) + e^2 S_{\psi\psi}(f) - \frac{2}{(2\pi f)^2} C_{zh}(f) + \frac{2e}{(2\pi f)^2} C_{z\psi}(f) - 2e C_{h\psi}(f)$$

E. Ergebnisse der Messungen:

Die Messungen wurden während der Hubschraubererprobungen im Juni und Juli 1965 durchgeführt. Es war dabei vorgesehen, die Spektren der Bewegungen und des Seegangs zu bestimmen und die Übertragungsfunktionen für die einzelnen Bewegungen zu berechnen und mit den Ergebnissen der Modellversuche und theoretischer

Rechnungen zu vergleichen. Die Bestimmung einer Übertragungsfunktion ist jedoch nur sinnvoll, wenn ein annähernd langkämmiger Seegang vorliegt. Die Hoffnung, in der Elbmündung einen solchen Seegang anzutreffen, war gering. Hinzu kommt, daß das Schiff während seines Dienstes kurzzeitig in die verschiedensten Richtungen fährt und Manöver ausführt, so daß auch bei einem langkämmigen Seegang der Winkel zwischen Schiffslängsachse und Wellenfortschrittsrichtung nicht konstant wäre. Die Messungen wurden daher während Zeiten durchgeführt, in denen der Versetzbetrieb ruhte und das Schiff trieb, jedoch gierte das Schiff auch da stark.

Die See war sehr heterogen. Zwar war teilweise eine geringe Dünung erkennbar, von einer vorherrschenden Wellenlaufrichtung konnte jedoch nicht gesprochen werden. Die für die verschiedenen Messungen angegebenen Richtungen sind daher sehr mit Vorsicht zu behandeln. Die im Folgenden mitgeteilten Ergebnisse werden zeigen, daß sie wertlos sind.

Es wurden insgesamt vier Messungen ausgewertet, die je 22 Minuten dauerten. Bei einem Zeitabstand der aus der Registrierung entnommenen Funktionswerte von 0,5 sec lagen also je Komponente und Messung ca. 2650 Werte vor. Daraus wurden die Maximalwerte und die Häufigkeitsverteilungen bestimmt und die Spektren berechnet.

Die Spektren der Stampfbewegung, der Vertikalbewegung des Hauptspants und der Vertikalbewegung des Aufstellungsortes der Plattform (Spt. 21) zeigen die Abb. 7 bis 9. Diese Bewegungsspektren haben trotz der für den Seegang gemachten Einschränkungen eine Aussagekraft. Sie geben an, wie die in den Bewegungen des Schiffes enthaltene Energie über den Frequenzbereich verteilt ist, unabhängig davon, daß wegen der Dreidimensionalität des Seegangs die Bewegung mit einer bestimmten Frequenz von Wellen verschiedener Wellenlängen erregt sein kann.

Aus der Kombination von Stampfbewegung, Tauchbewegung und Wellenhöhe relativ zum Schiff wurden gemäß Kapitel D auch die Seegangsspektren berechnet. Diese können aus den angeführten Gründen nur Abschätzungen sein, deren Güte man zum einen aus der Form,

besser jedoch aus den damit bestimmten Übertragungsfunktionen für die Bewegungen erkennen kann. Abb.10 zeigt diese Abschätzung für die Messung 4. Der Form nach erscheint dieses Spektrum recht plausibel. Bei der Bestimmung der Übertragungsfunktionen zeigen sich jedoch die Fehler. Diese Übertragungsfunktionen für die Stampfbewegung und die Tauchbewegung sind in den Abb.11 und 12 den Ergebnissen der Modellversuche gegenübergestellt. Es muß in diesem Zusammenhang noch erwähnt werden, daß das berechnete Seegangsspektrum auch noch dadurch verfälscht ist, daß die relative Wellenhöhe über eine Druckmessung bestimmt wurde; die gravierenden Fehler dürften aber aus der Kurzkämmigkeit resultieren.

In den Abb.13 und 14 sind die Häufigkeitsfunktionen der Vertikalbeschleunigungen der Plattform für die Messungen 1 und 2 der Normalverteilung gegenübergestellt. Die Theorie geht davon aus, daß die Funktionswerte normalverteilt sind, was hier gut zutrifft. Schlecht ist die Übereinstimmung bei der Stampfbewegung für die Fahrt 1 (Abb.15). Der χ^2 -Test, mit dem man angeben kann, ob zwei Verteilungen signifikante Differenzen aufweisen, zeigt, daß diese Funktionswerte nicht normalverteilt sind. Dies rührt z.T. daher, daß die Auflösung der Potentiometer begrenzt ist.

Diese Ergebnisse zeigen, daß es nicht sinnvoll ist, für diesen kurzkämmigen Seegang ein skalares Spektrum des Seegangs anzugeben und damit die Übertragungsfunktion zu bestimmen. Es müßte auf jeden Fall die jeweilige Wellenlaufrichtung mit berücksichtigt, also ein Richtungsspektrum bestimmt werden. Das aber ist schon aus meßtechnischen Gründen hier ausgeschlossen. Von Wert sind jedoch die Ergebnisse, die die Messung der Schiffsbewegung liefern. Und darauf kam es ja im wesentlichen an. Für die vorliegenden Untersuchungen sind diese maßgebend, da ja letztlich die Schiffsbewegungen das Landekriterium liefern und der Seegang nur indirekt, nämlich als Erreger der Bewegungen. Zur

Charakterisierung sollte die in einer Bewegung enthaltene Energie, also die Größe m_0 , der einfachste und ausreichende Wert sein.

In der Tabelle in Abb.16 sind die m_0 -Werte der Stampfbewegung und der Vertikalbeschleunigung der Plattform für die verschiedenen Fahrten zusammengestellt, und zwar die aus den digitalisierten Daten bestimmten als auch die parallel zur Registrierung sofort während der Messung gerechneten. Dabei sind aus der Zeile 'aus Rechner' jeweils zwei Werte angegeben, da eine Rechnung 10 Minuten dauert, jede Messung aber insgesamt 22 Minuten. Zum Vergleich sind die Resultate der auf 'Elbe I' durchgeführten Seegangsbeobachtungen eingetragen, aus denen eine Wellenlänge, Wellenschräge und maximale Beschleunigung in der Welle berechnet wurde. Diese Werte sind nicht wirklich, sondern dienen nur als Anhalt, da sie die Größenordnung angeben, die in einer regelmäßigen Welle der beobachteten Höhe und Periode auftreten. Die bei Messung 4 beobachteten Größen sind etwas unglaubhaft; es sind deshalb wahrscheinlichere Werte in Klammern zugefügt.

Man sollte annehmen, daß, wenn man bei den Untersuchungen über ein Jahr alle drei Stunden die in der Tabelle aufgeführten Größen bestimmt, sich aus diesen günstigenfalls 2000 Zuständen ein für die vorliegenden Aufgaben befriedigender Zusammenhang zwischen den Seegangsbeobachtungen und den m_0 -Werten der Bewegungen ableiten läßt.

Schließlich sind in der Tabelle noch die in der jeweiligen Registrierung aufgetretenen Extremwerte aufgeführt.

F! Zusammenfassung:

In dem vorliegenden Bericht wurde über die ersten vorbereitenden Schiffsbewegungsmessungen auf dem Lotsenschiff 'Kommodore Ruser' berichtet. Es wurde gezeigt, daß es wenig sinnvoll erscheint, bei dem auf der Station vorherrschenden dreidimensionalen Seegang skalare Größen (Seegangsspektrum, Übertragungsfunktionen) anzugeben, sondern daß es dem Zweck der Untersuchungen entspricht, Mittelwerte für die Charakterisierung zu benutzen.

Dank gebührt der Schiffsführung der 'Kommodore Ruser' für ihr Entgegenkommen und Verständnis bei der Durchführung der Untersuchungen.

G. Literatur:

St. Denis, M.u. W.J. Pierson: On the Motion of Ships in Confused Seas. TSNAME 1953

Bartsch, H. : Statistische Methoden zur Untersuchung der Bewegungen eines Schiffes im Seegang. Schiffstechnik 1959

Keil, H. : x) Untersuchungen über das Verhalten von Schiffen im Seegang. Erprobung einer Meßanlage auf dem Forschungsschiff Meteor. Jahrbuch STG 59 (1965) S.378 ff.

Hattendorff, H.G. : Seegangversuche mit dem Modell des Lotsenschiffes 'Kommodore Ruser' HSVA-Bericht F 34/65

x) Diese Arbeit enthält eine ausführlichere Literaturzusammenstellung.

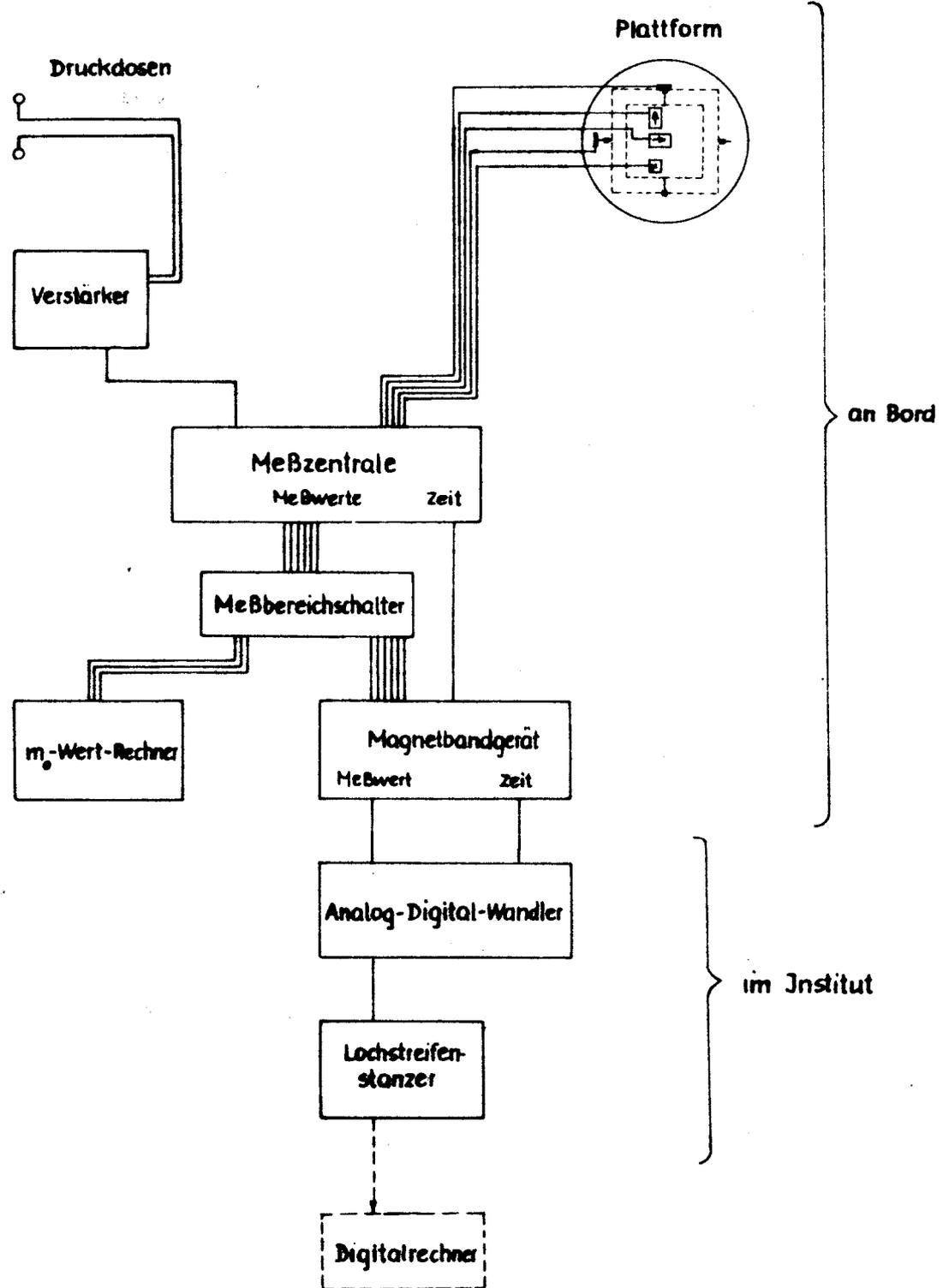


Abb. 2 Blockschaubild der Meß- und Auswerteinrichtung

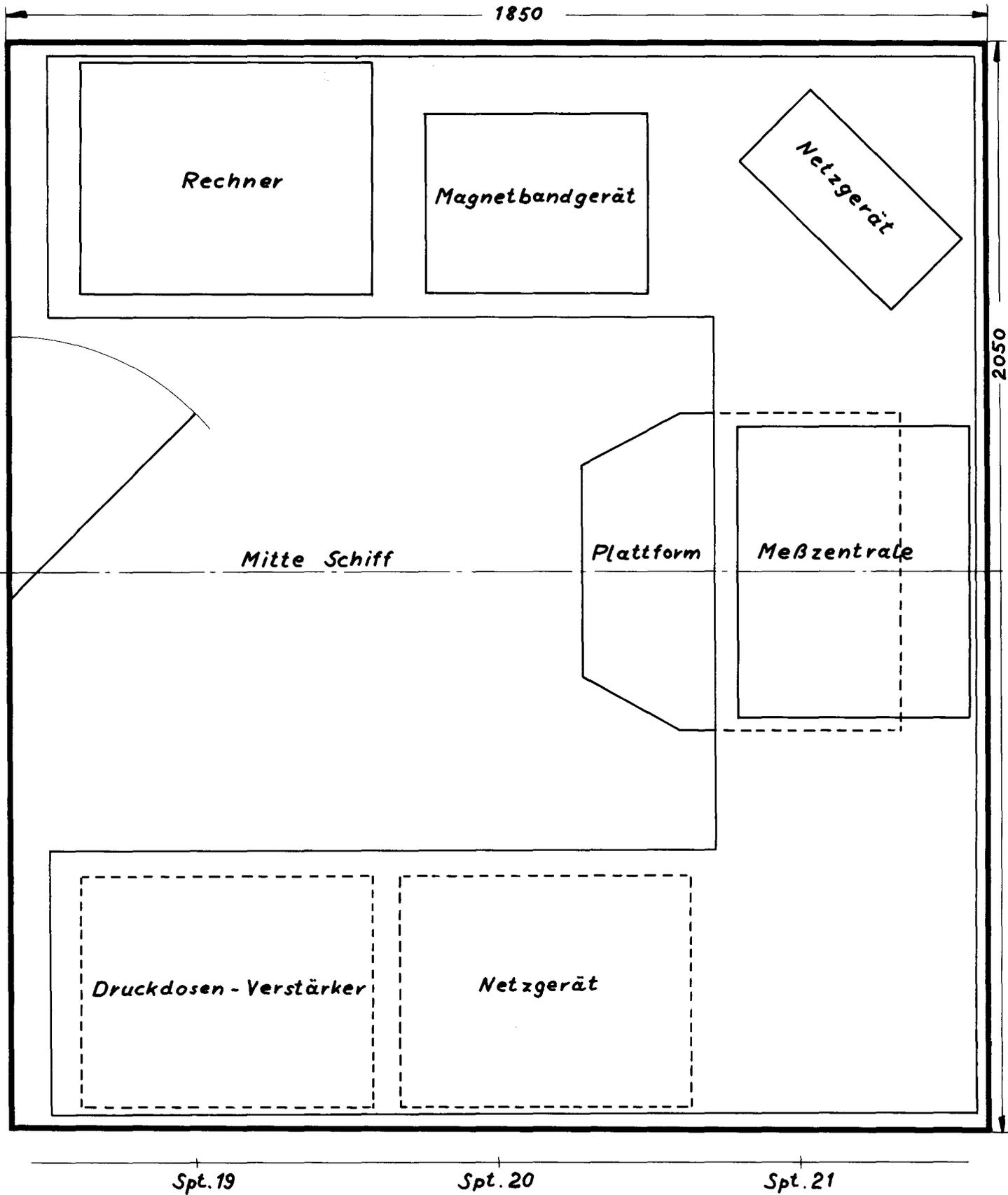
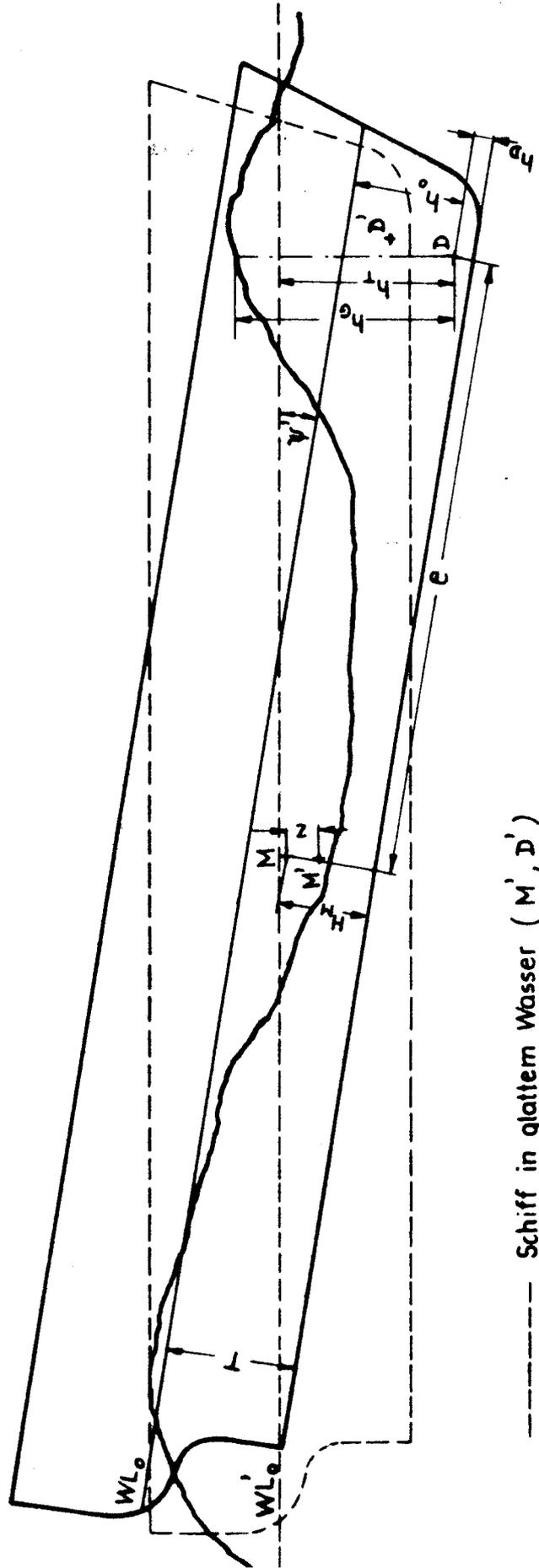


Abb. 1 Meßkammer



----- Schiff in glattem Wasser (M', D')

Abb. 6 Zur Bestimmung der Wellenhöhe aus der Bewegung

S_{yy} [rad²·sec]

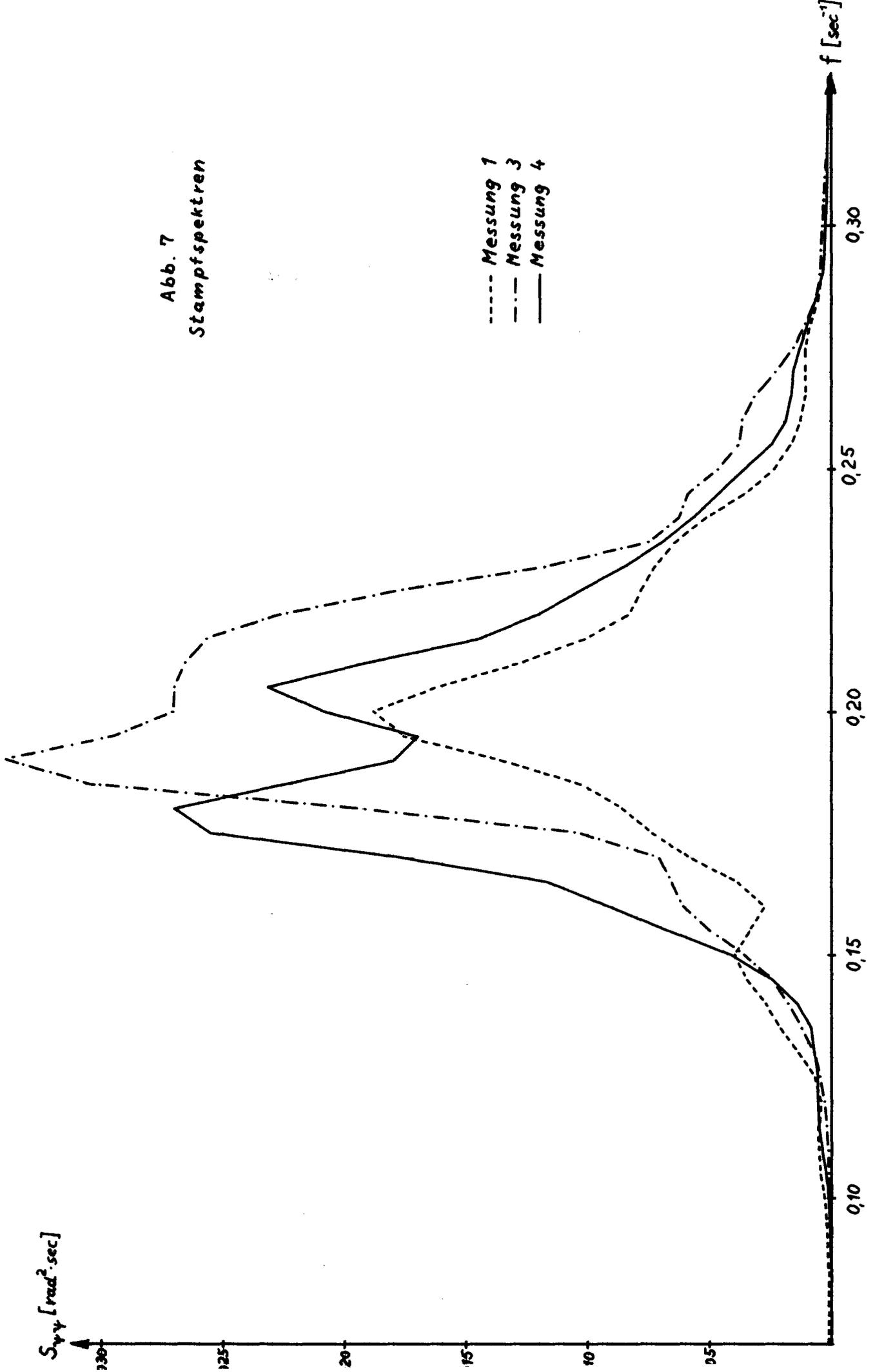


Abb. 7
Stampfspektren

--- Messung 1
- · - Messung 3
— Messung 4

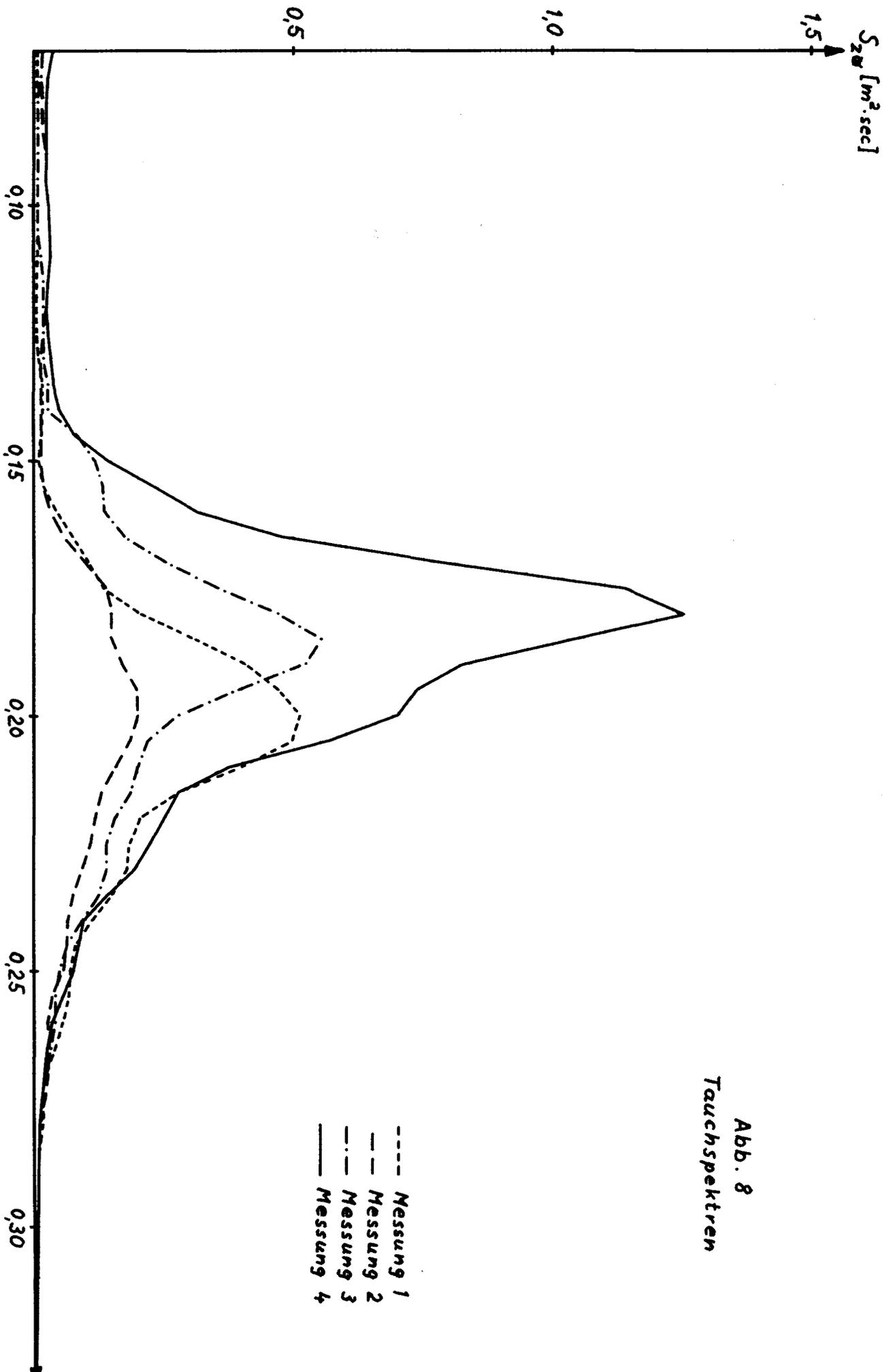


Abb. 8
Tachspektren

$S_{zH} [m^2 \cdot sec]$

1,5

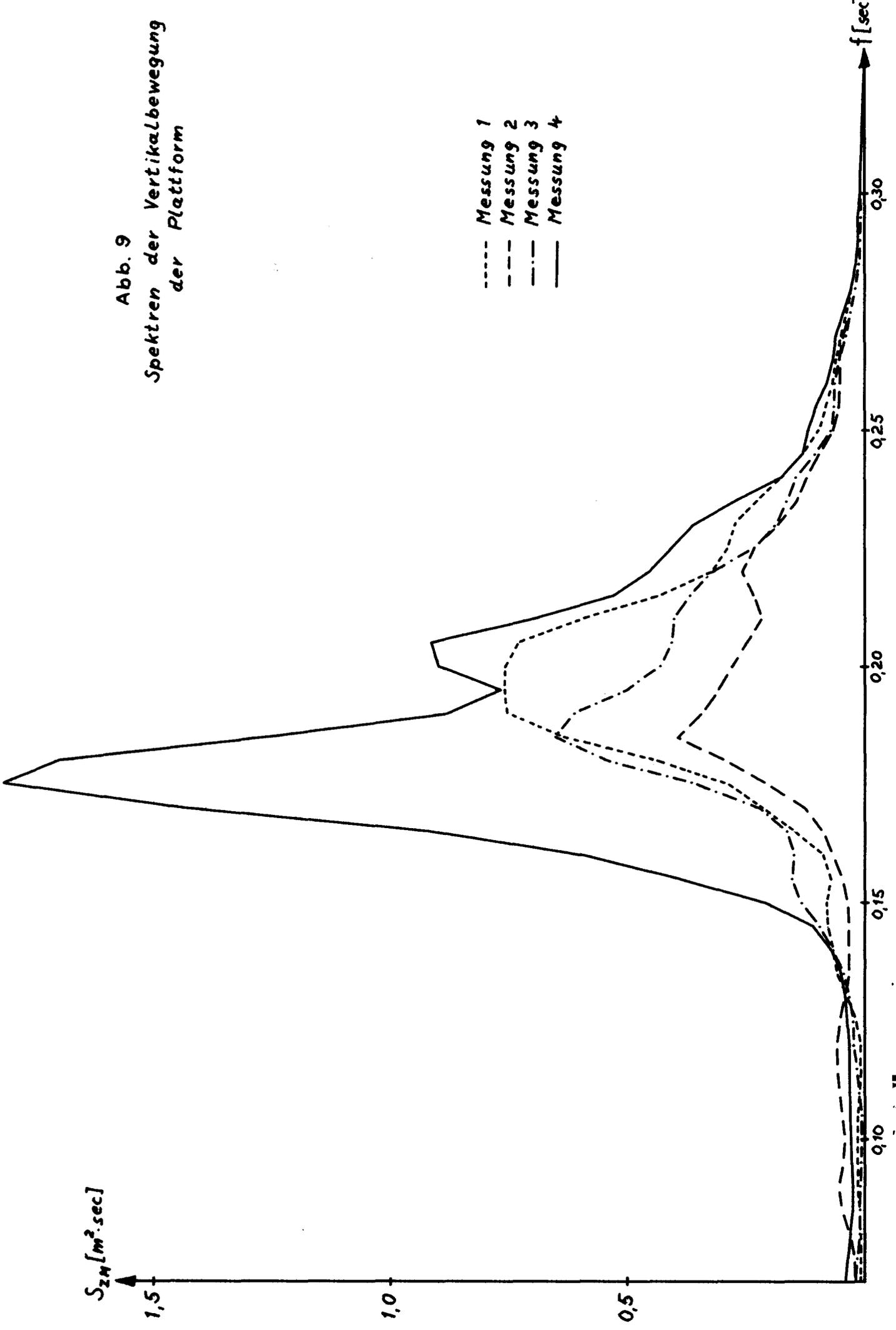
1,0

0,5

Abb. 9

Spektren der Vertikalbewegung
der Plattform

- Messung 1
- - - - - Messung 2
- · - · - Messung 3
- Messung 4



f [sec]

0,30

0,25

0,20

0,15

0,10

S_{33} [m².sec]

1,75

1,50

1,25

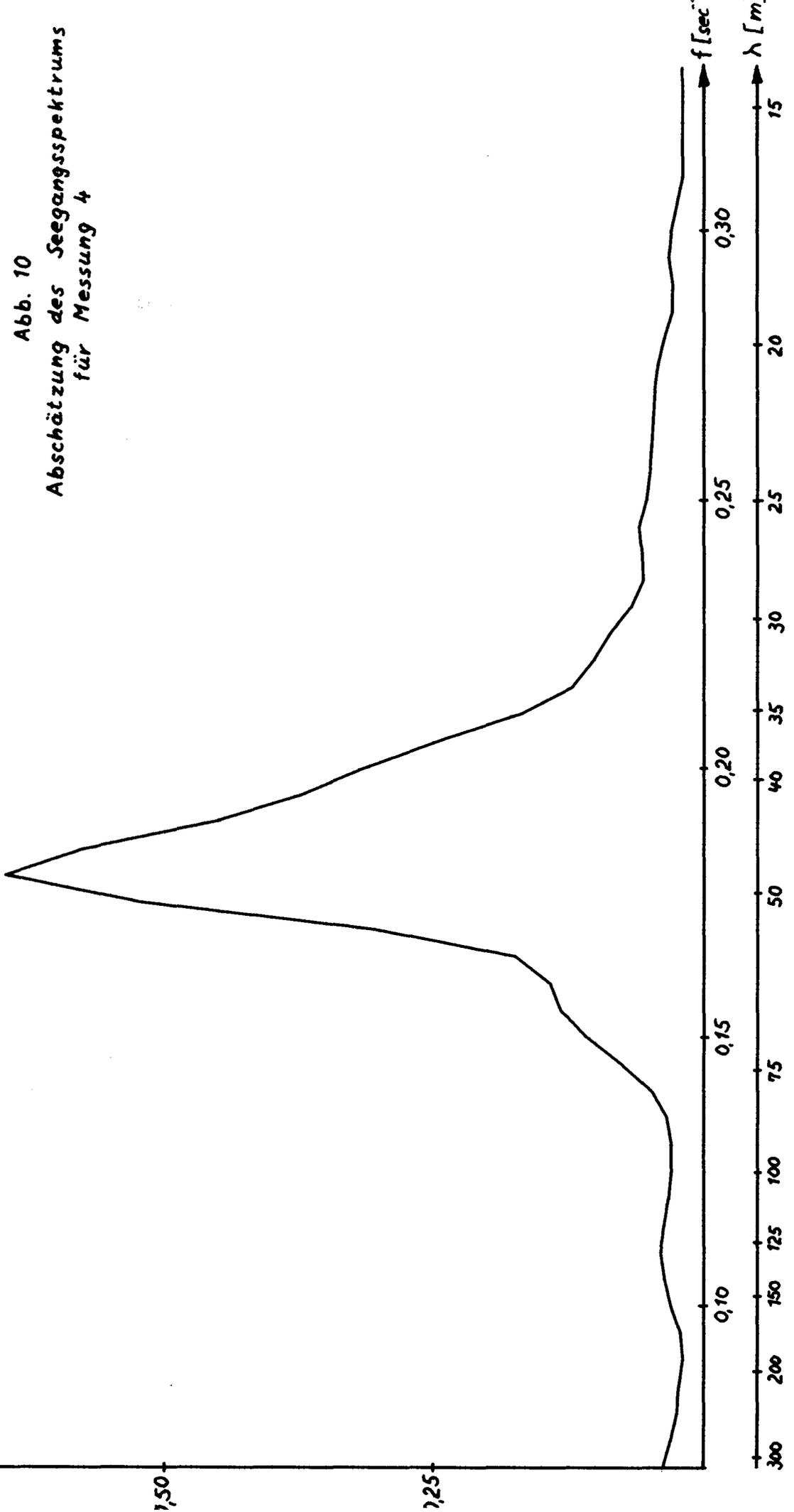


Abb. 10

Abschätzung des Seegangsspektrums
für Messung 4

f [sec]

0,30

0,25

0,20

0,15

0,10

λ [m]

15

20

25

30

35

40

50

75

100

125

150

200

300

Abb. 11
Abschätzung der Stampf-
Übertragungsfunktion

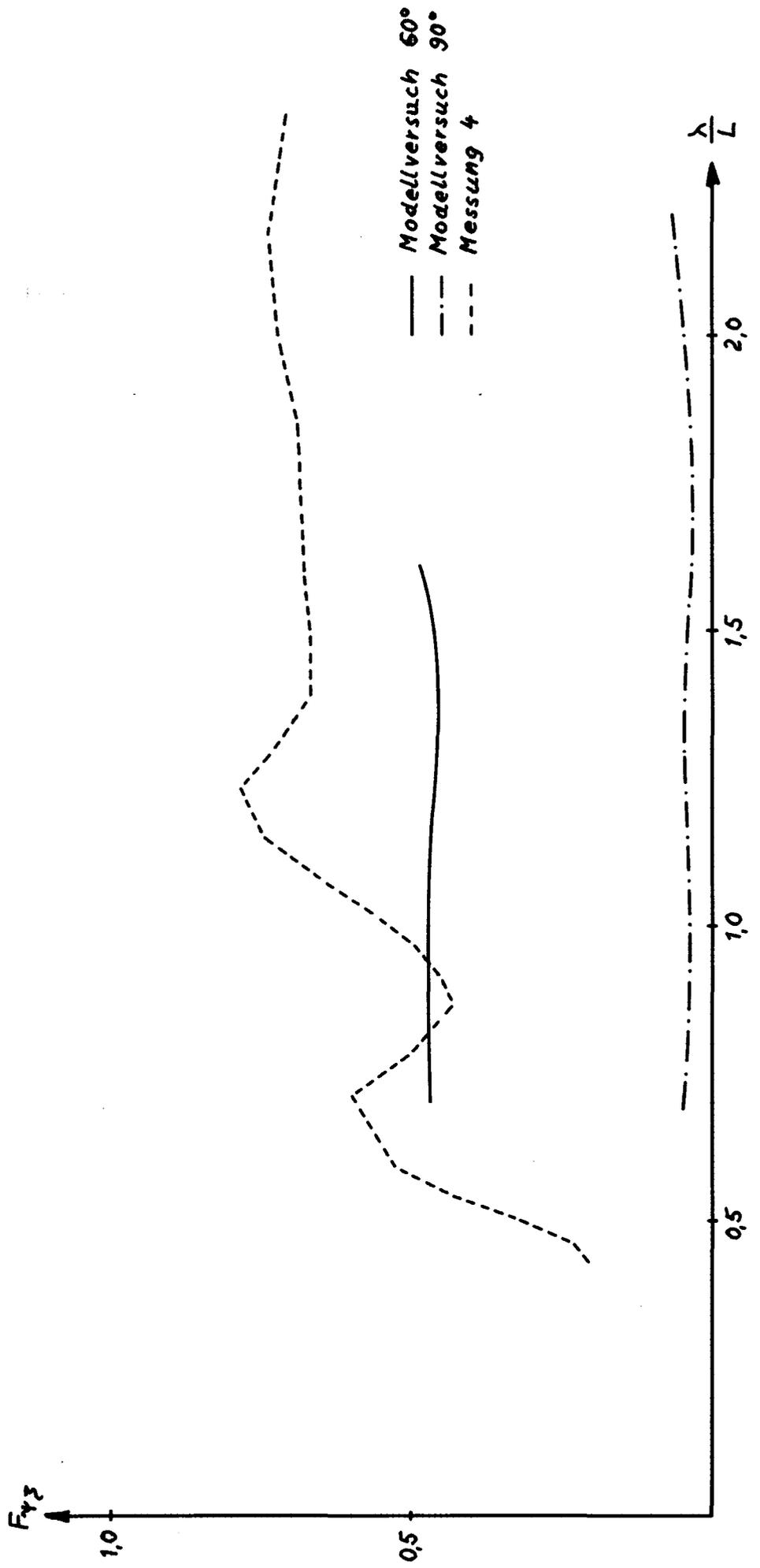
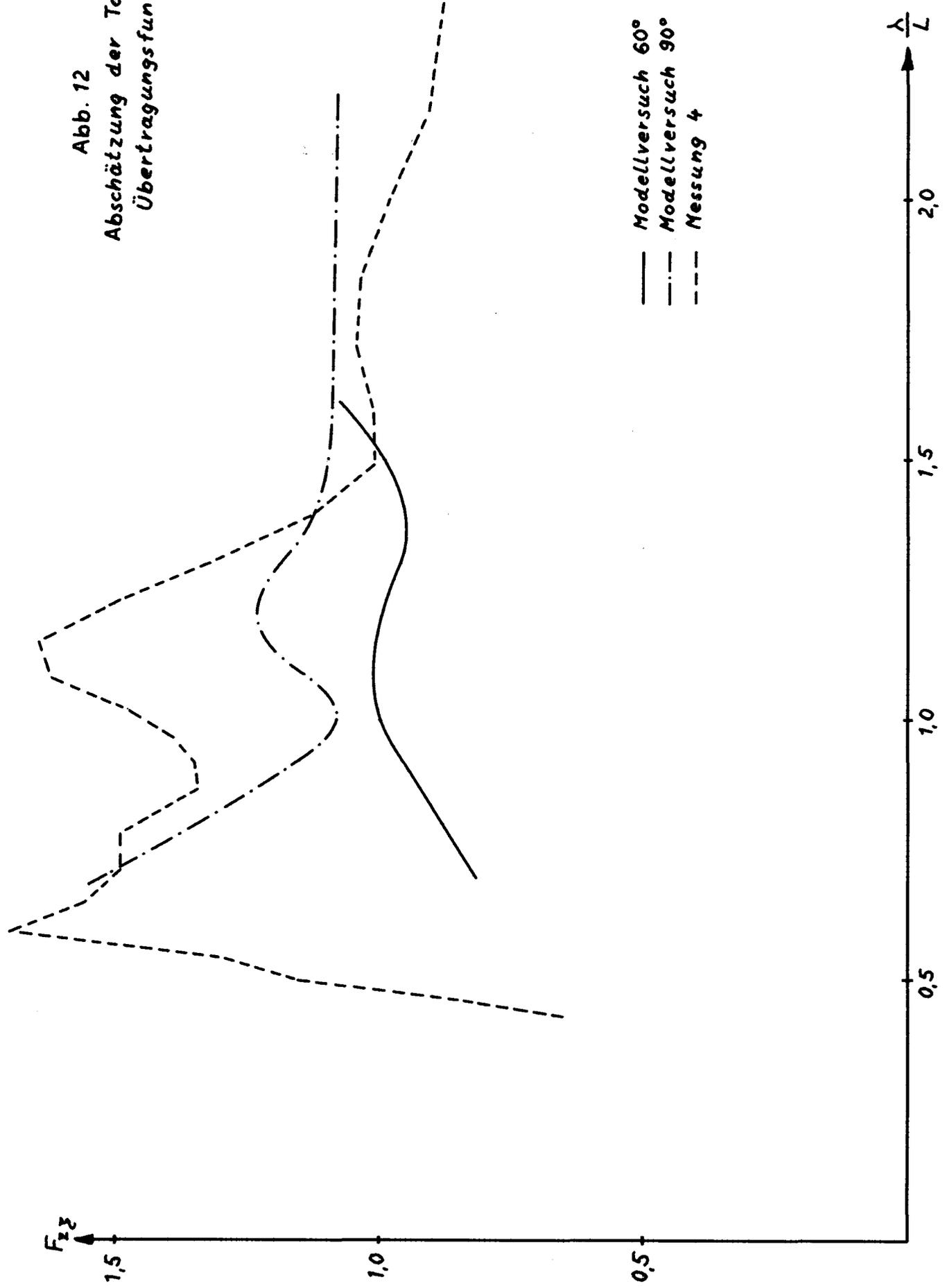


Abb. 12
Abschätzung der Tauch-
Übertragungsfunktion



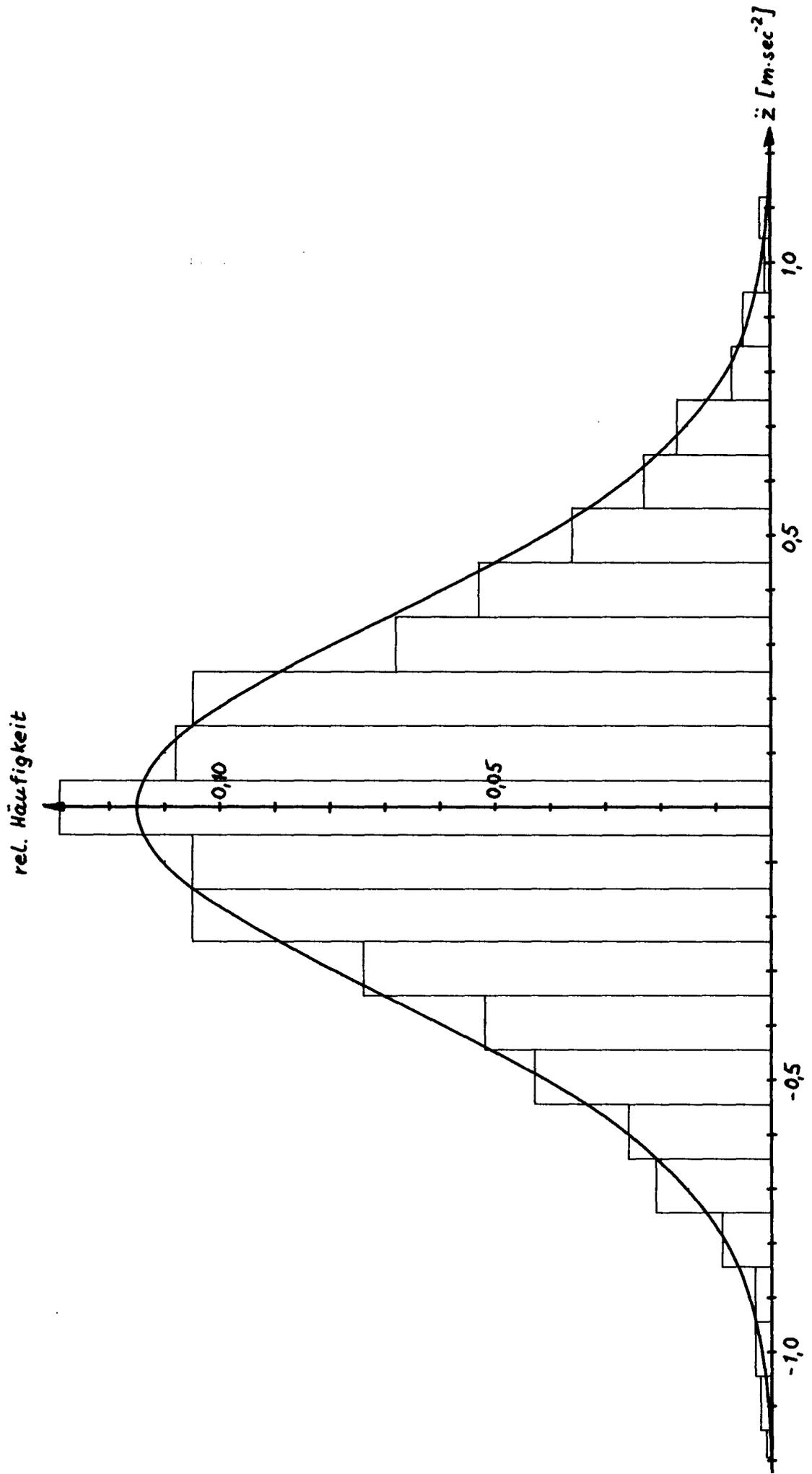


Abb. 13 Häufigkeitsverteilung der Vertikalbeschleunigung Messung 1

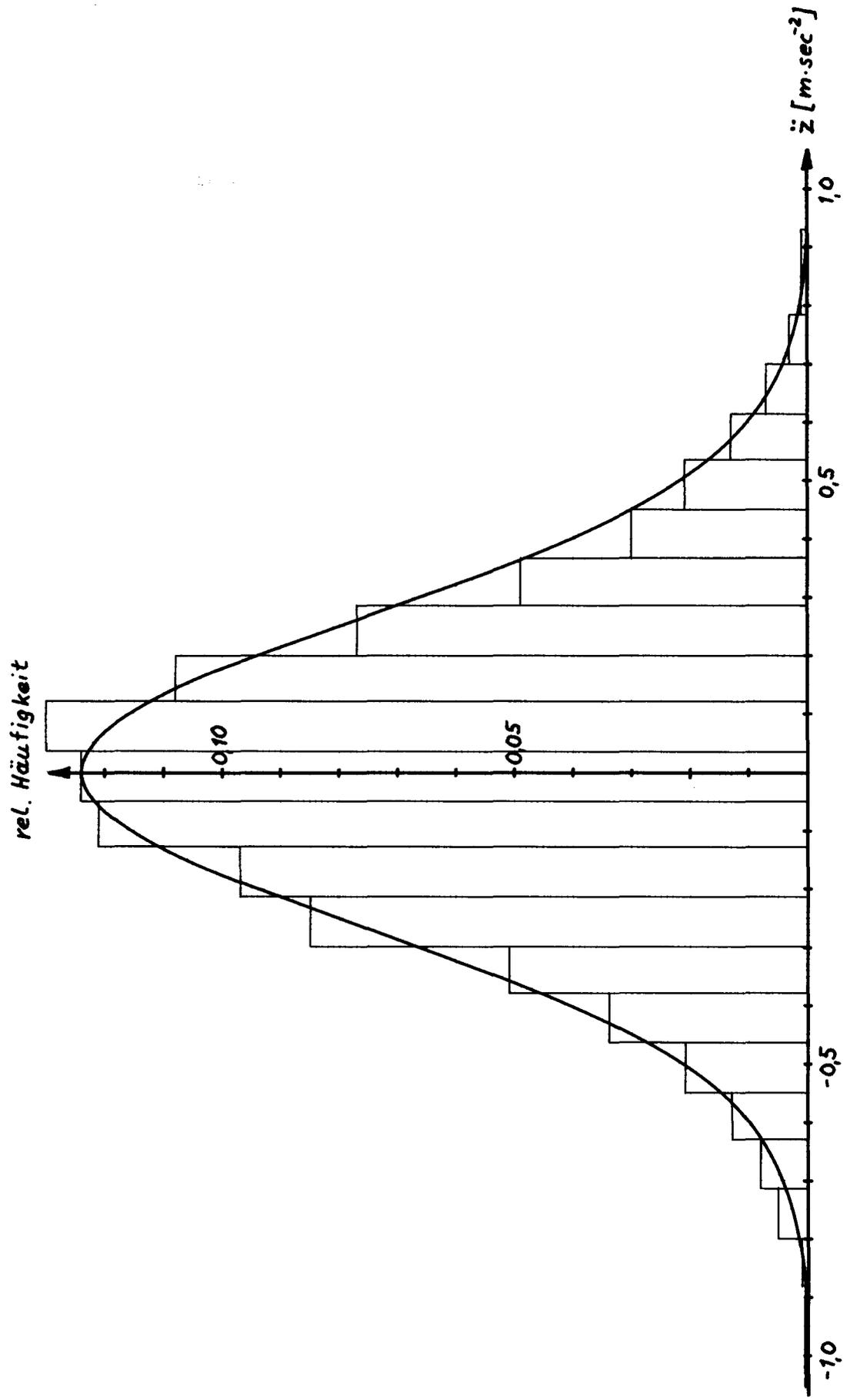


Abb. 14 Häufigkeitsverteilung der Vertikalbeschleunigung Messung 2

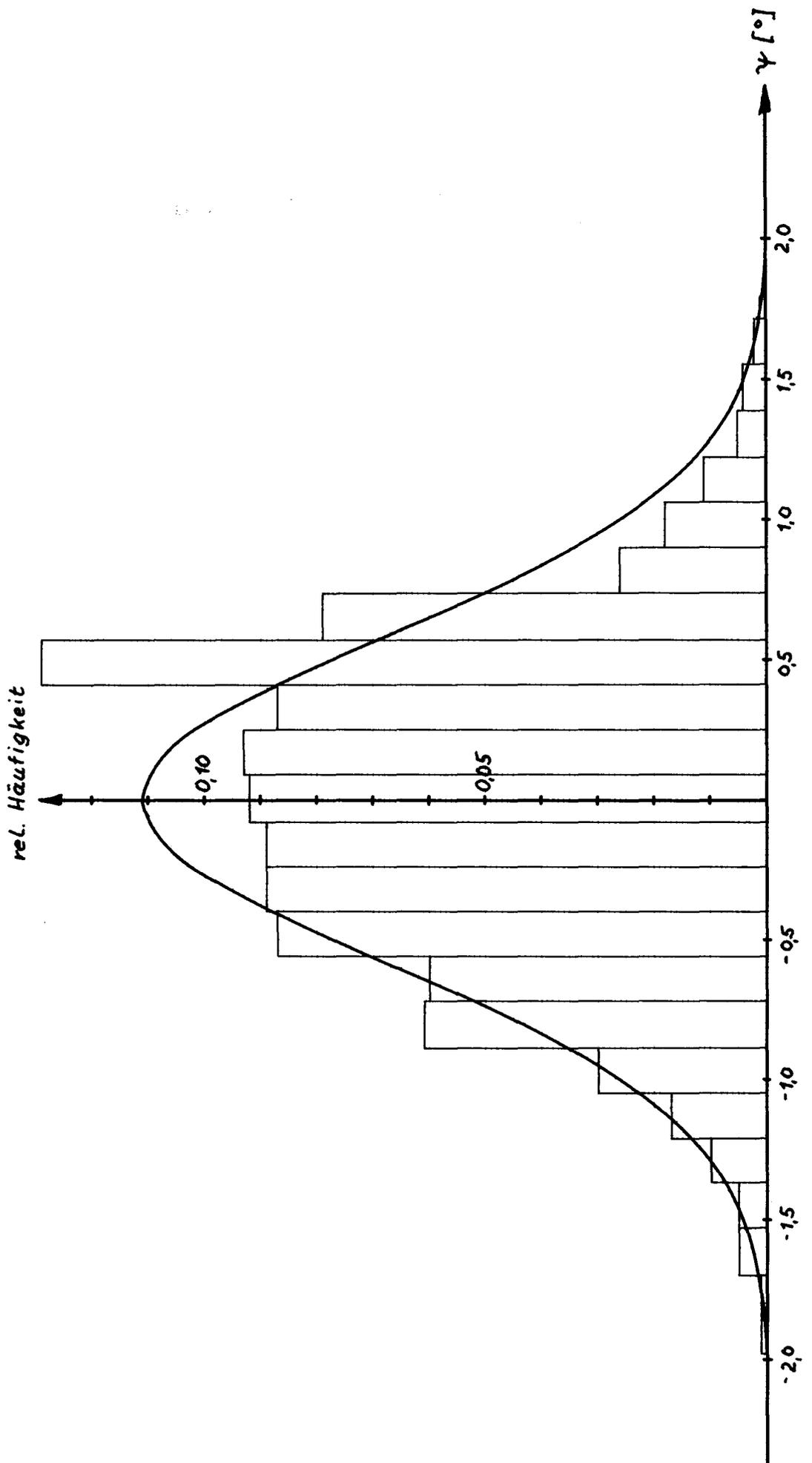


Abb. 15 Häufigkeitsverteilung des Stampfwinkels Messung 1

			Mess.1	Mess.2	Mess.3	Mess.4
			10.6.65 14.00 h	10.6.65 16.00 h	11.6.65 16.00 h	13.7.65 15.30 h
Seegang	auf Elbe I beobachtet	Höhe [m]	1,0	1,0	1,5	1,3
		Periode [s]	4	4	4	3 (4)
	daraus berechnet	W.Länge [m]	25	25	25	14 (25)
		Schräge [°]	7,2	7,2	10,8	16,6(9,4)
		Maximale Beschleun.	0,126 g	0,126 g	0,188 g	0,290 g (0,163 g)
	geschätzt	Richtung	90° Bb	30° Bb	20° Bb	90° Stb
Schiffs- bewegung	aus Daten	$\sqrt{m_{OY}}$ [°]	0,58	0,58	0,78	0,72
	aus Rechner	$\sqrt{m_{OY}}$ [°]	0,54 0,52	0,55 0,51	0,75 0,73	
	aus Daten	$\sqrt{m_{OZ}}$	0,036 g	0,027 g	0,032 g	0,044 g
	aus Rechner	$\sqrt{m_{OZ}}$	0,040 g 0,028 g	0,029 g 0,023 g	0,026 g 0,034 g	0,040 g 0,042 g
	Extremwerte	γ_{max} [°]	1,77	1,87	2,59	2,55
		γ_{min} [°]	-1,96	-1,97	-2,44	-2,71
		\ddot{z}_{max}	0,113 g	0,094 g	0,119 g	0,132 g
		\ddot{z}_{min}	-0,120g	-0,101g	-0,152g	-0,132g

Abb. 16 Tabelle