

347 | September 1976

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

P. Blume, H. Keil, H.-P. Hattendorff, O. Krappinger

Kräfte durch überkommendes Wasser

Ein Beitrag zur Bemessung des
Freibords

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Kräfte durch überkommendes Wasser. Ein Beitrag zur Bemessung des Freibords

P. Blume, H. Keil, H.-P. Hattendorff, O. Krappinger

Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1976

© Technische Universität Hamburg-Harburg

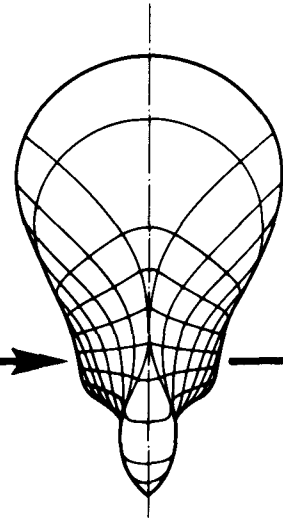
Schriftenreihe Schiffbau

Schwarzenbergstraße 95c

D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

**INSTITUT FÜR SCHIFFBAU
DER UNIVERSITÄT HAMBURG**



**Kräfte durch überkommendes Wasser
Ein Beitrag zur Bemessung des Freibords**

**P. Blume
H. Keil
H.-G. Hattendorff
O. Krappinger**

September 1976

Bericht Nr. 347

KRÄFTE DURCH ÜBERKOMMENDES WASSER

Ein Beitrag zur Bemessung des Freibords

von

P. Blume, H. Keil

H.-G. Hattendorff, O. Krappinger

Hamburg 1976

Vorwort

Zu einem wesentlichen Teil liegen dieser Arbeit die Ergebnisse zugrunde, die im Rahmen eines Auftrages des Bundesamtes für Wehrtechnik und Beschaffung (Vertrags-Nr.E/S21B/40017/36920) an den letztgenannten Verfasser zur "Erarbeitung einer Bemessungsgrundlage für die Sicherheit von Schiffen im Hinblick auf das Überkommen von Wasser" erzielt worden sind. Da das Thema von allgemeinem Interesse ist, sind die Untersuchungen im Institut für Schiffbau der Universität Hamburg über den durch den genannten Auftrag gegebenen Rahmen hinaus ausgedehnt worden.

Die Modellversuche sind in der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH durchgeführt worden.

Die Verfasser danken Herrn Dr. Flecken vom Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung für die Genehmigung zur Veröffentlichung der Arbeit.

Inhalt

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1 - 2
2. Statistische Kennwerte für das Überkommen von Wasser und ihre Interpretation	2 - 6
3. Modelldaten und Versuchsanordnung	6 - 8
4. Versuchsseegänge	8 -10
5. Versuchsergebnisse: Statistische Kennwerte der Relativbewegung	10-12
6. Versuchsergebnisse: Durch Seeschlag verursachte Kräfte	12-15
7. Zusammenhang zwischen den Kennwerten für die Kräfte und den Kennwerten für die Relativbewegung zwischen Schiff und Wasseroberfläche	15-17
8. Einfluß der Schiffsgeschwindigkeit auf durch Seeschlag verursachte Kräfte	18-19

1. Einleitung

Es ist seit langem bekannt, daß der Freibord im Zusammenhang mit verschiedenen Aspekten der Schiffssicherheit eine Rolle spielt. So geht er in die Berechnung der Sinksicherheit bei Beschädigungen, in die Festigkeitsrechnung und in den Nachweis der Kentersicherheit ein. Wie in /1/, S. 233/234, näher begründet worden ist, lassen sich in allen diesen Fällen allerdings a priori keine bestimmten Mindestwerte für den Freibord vorgeben: Diese können vielmehr - in einem gewissen Rahmen beliebig - gewählt werden, wobei man verschiedenen Gesichtspunkten (z.B. Gewichtsminimierung, Höhe von Kaianschlüssen für Fährschiffe usw.) Rechnung tragen kann. Eine Freibordvorschrift kann sich in den genannten Fällen darauf beschränken, sicherzustellen, daß der vom Konstrukteur bei seinen Berechnungen zugrunde gelegte Freibord im Betrieb nicht unterschritten wird.

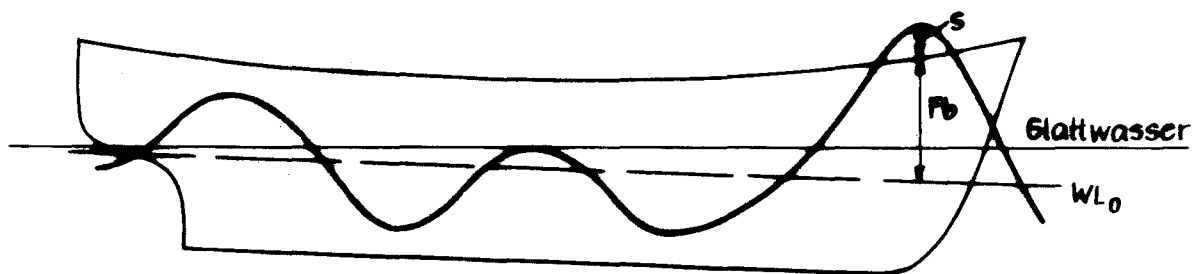
Der Freibord ist aber auch im Hinblick auf das Überkommen von Wasser im Seegang von großem Einfluß. Im Gegensatz zu den vorerwähnten Sicherheitsaspekten gibt es allerdings für den Begriff "Überkommen von Wasser" bis heute noch kein wissenschaftliches Explikat.

Die Situation ist ähnlich, wie sie bei Begriffen aus der Mechanik bestand, bevor diese wissenschaftlich definiert worden sind, und wie sie dafür noch heute im außerwissenschaftlichen Bereich besteht. So wird z.B. das Wort Leistung in der Alltagssprache nicht nur in seiner in der Mechanik definierten Bedeutung gebraucht: Man verwendet es ebenso häufig in einem übertragenen Sinne (z.B. Leistung eines Wissenschaftlers), wie zur Bezeichnung meist herausragender Werte für andere physikalische Begriffe (z.B. kann mit der Aussage, daß ein handbetriebenes Hebezeug viel leistet, gemeint sein, daß es große Lasten heben kann). Ohne Zweifel beinhaltet auch der Begriff "Überkommen von Wasser" (oder "deck wetness") verschiedene Aspekte. Diesen wird man sicher nicht gerecht, wenn man - wie dies in der einschlägigen Literatur häufig gemacht wird -

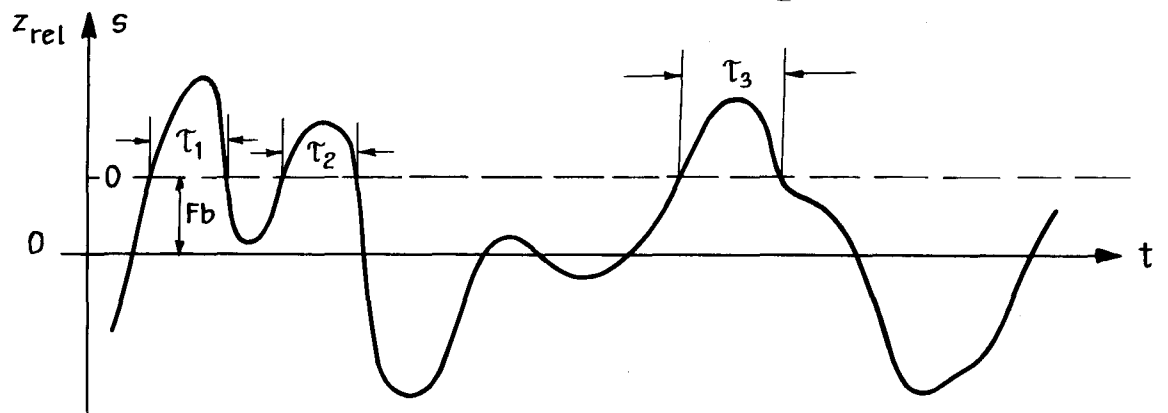
(siehe z.B. /2,3/) - als Maß dafür einfach die Wahrscheinlichkeit einführt, daß die Amplituden der Relativbewegung zwischen Schiff und Wasseroberfläche Seite Deck überschreiten. Zunächst ist in diesem Zusammenhang festzustellen, daß es noch eine ganze Reihe weiterer statistischer Kennwerte gibt, die die relative Eintauchung eines Schiffes in einen bestimmten Seegang (der dabei durch ein Seegangsspektrum beschrieben wird) charakterisieren.

2. Statistische Kennwerte für das Überkommen von Wasser und ihre Interpretation

Als Beispiele seien hier sechs Kennwerte aufgeführt. Sie gelten jeweils für eine bestimmte Stelle der Schiffslänge.

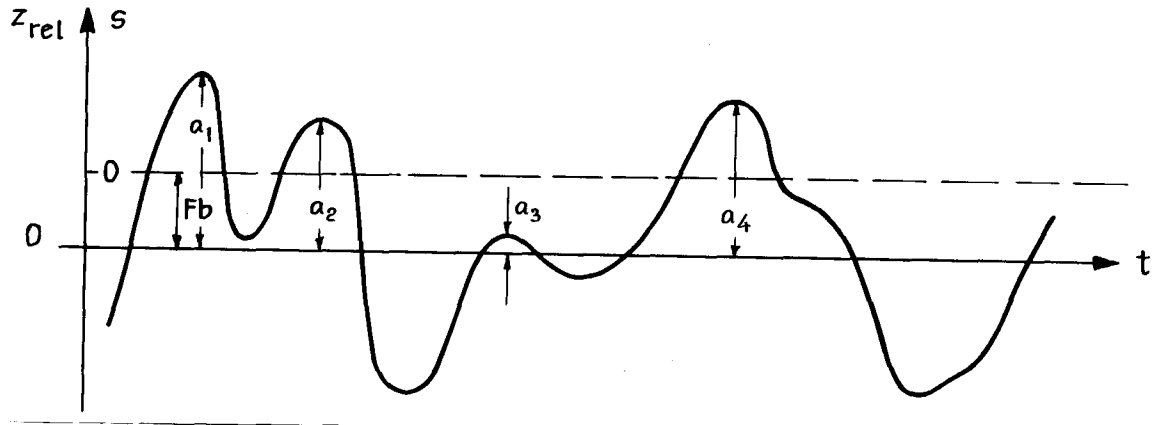


1. Wahrscheinlichkeit (relativer Anteil an Zeit), daß die Wasseroberfläche Seite Deck überschreitet.



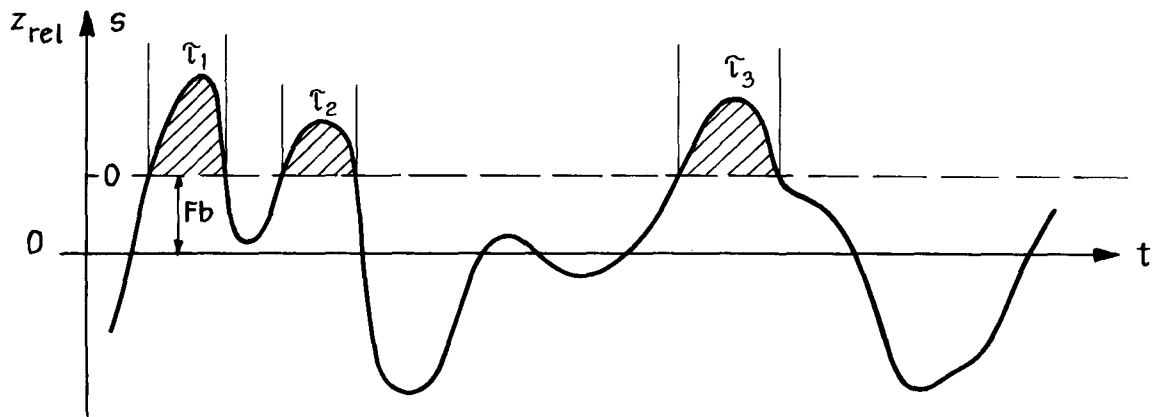
$$W_G = W\{s > 0\} = W\{z_{rel} > F_b\} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{n_{\ddot{u}}} \tau_i$$

2. Wahrscheinlichkeit (relative Häufigkeit) der Amplituden der Relativbewegung, die Seite Deck überschreiten.



$$W_R = W \left\{ a > F_b \right\} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\text{Zahl der Fälle in } T, \text{ in denen } a > F_b}{\text{Zahl der in } T \text{ vorkommenden Ampl. } a} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{n_{\bar{u}}}{n}$$

3. Mittlere Höhe der Wasseroberfläche über Deck während der Zeit, in der die Wasseroberfläche Seite Deck überschritten hat.

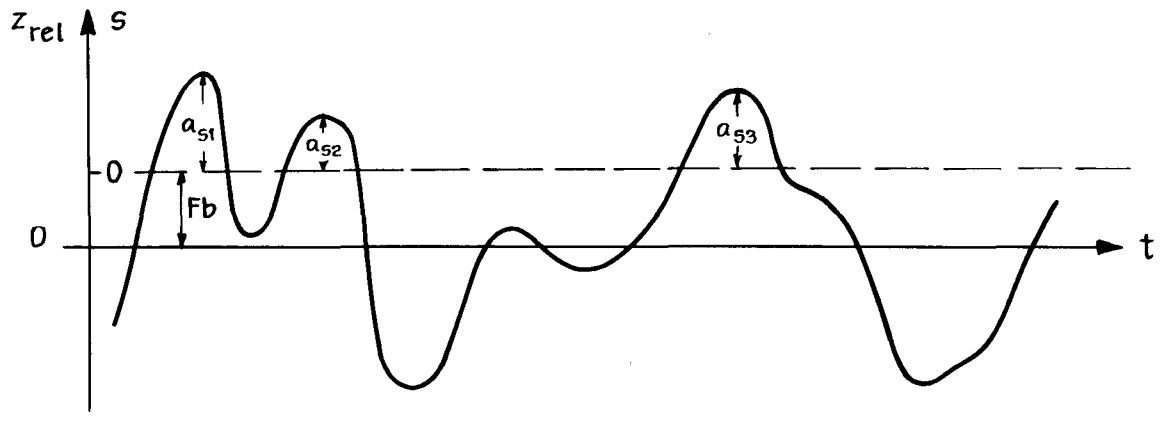


$$\bar{s}_1 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{\sum \tau_i} \sum_{i=1}^{n_{\bar{u}}} \int_{\tau_i} s \, dt$$

4. Höhe der Wasseroberfläche über Deck, gemittelt über die gesamte Zeit.

$$\bar{s}_2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{n_{\ddot{u}}} \int_{\tau_i} s \, dt$$

5. Mittelwert der Maximalwerte der Überschreitungen.



$$\bar{a}_s = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\sum a_{si}}{\text{Zahl der Fälle in } T, \text{ in denen } a > F_b} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{n_{\ddot{u}}} \sum_{i=1}^{n_{\ddot{u}}} a_{si}$$

6. Mittlere Anzahl ν der je Zeiteinheit auftretenden Amplituden der Relativbewegung, die Seite Deck überschreiten.

$$\nu = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\text{Zahl der Fälle in } T, \text{ in denen } a > F_b}{T} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{n_{\ddot{u}}}{T}$$

Diese Kennwerte haben für sich allein noch wenig Aussagekraft. Der Grund dafür besteht sicher nicht darin, daß es sich dabei um wirklichkeitsfremde Definitionen handelt, sondern daß im Augenblick

noch zu wenig Erfahrungen zu ihrer Interpretation vorliegen. Um sich eine Vorstellung von dem zu machen, was die statistischen Kennwerte in Wirklichkeit bedeuten, muß man einen Zusammenhang zwischen ihnen und der "Wirkung" des überkommenden Wassers herstellen.

Dabei sind zweierlei Aspekte von Interesse: Einer betrifft die Frage, in welchem Ausmaß durch überkommendes Wasser die Arbeit auf Deck behindert wird. Dieser könnte durch einen statistisch zu ermittelnden subjektiven "Belästigungsgrad" erfaßt werden. Der andere Aspekt ist die Gefährdung von Schiff und auf Deck befindlichem Gerät durch den Seeschlag.

Obwohl beide Aspekte von Bedeutung sind, spricht einiges dafür, zunächst das Problem des Seeschlags in Angriff zu nehmen. Bei dem heutigen Stand der Schiffshydrodynamik kann zu seiner Lösung nur eine halbempirische Methode in Frage kommen: Die die Relativbewegung zwischen Schiff und Wasseroberfläche bzw. den Seite Deck überschreitenden Teil dieser Bewegung kennzeichnenden statistischen Kennwerte können für jedes Schiff in einem beliebigen (durch sein Spektrum gekennzeichneten) Seegang berechnet werden. Der Zusammenhang zwischen diesen Kennwerten und dem Eintreten von Seeschlag wird experimentell durch Modellversuche festgestellt. Diesem Vorgehen liegt die Hypothese zugrunde, daß das Eintreten von Seeschlag durch die statistischen Kennwerte für die Relativbewegung bestimmt werden kann, unabhängig davon, welcher Seegang und welche für die Schiffsbewegung maßgeblichen Schiffseigenschaften zur Relativbewegung geführt haben.

Diese Arbeit beschränkt sich auf die Untersuchung des Seeschlages bei Fahrt gegen die See. Für diesen Zweck scheint die Relativbewegung am vorderen Lot als das geeignetste Bezugsmaß.

Der oben verwandte Begriff "Eintreten von Seeschlag" bedarf noch einiger Erläuterungen. Zumindest in dem Stadium, in dem es noch um die Untersuchung von grundlegenden Zusammenhängen geht, wäre es unzumutbar, hier eine sehr weitgehende Differenzierung nach Art und Lage der von der überkommenden See getroffenen Objekte vorzunehmen. Als einfaches "Maß" für das Eintreten von Seeschlag bietet sich die auf eine

vertikale Fläche im Vorschiff ausgeübte Kraft an. Denkbar wäre auch, den an einer bestimmten Stelle auftretenden Druck als ein solches Maß zu verwenden. Der Nachteil gegenüber der Verwendung einer auf eine Fläche wirkenden Kraft wäre jedoch, daß zu erwarten ist, daß der Druck von lokalen Gegebenheiten relativ stark beeinflußt wird. Dies würde die zunächst im Vordergrund stehende Erfassung des mehr grundsätzlichen Zusammenhangs erschweren.

Abgesehen von der Untersuchung des vorerwähnten Zusammenhangs zwischen statistischen Kennwerten der Relativbewegung und der durch Seeschlag erzeugten Kräfte auf auf Deck stehende Bauwerke sind natürlich auch Informationen über derartige Kräfte von großem Interesse. Abgesehen von immer wieder bekannt werdenden Schäden durch Seeschlag, die auf die Wirkung sehr großer Kräfte schließen lassen, ist bis heute kaum etwas Näheres darüber bekannt.

3. Modelldaten und Versuchsanordnung

Den Untersuchungen lag die Fregatte 120 zugrunde, die folgende Hauptabmessungen aufweist:

Länge zwischen den Loten	= 105.00 m
Breite	= 11.00 m
Tiefgang	= 4.00 m
Freibord am vorderen Lot	= 6.00 m
Trägheitsradius	= 0.244 L

Den Spantriß zeigt Abb. 1. Der Modellmaßstab war 1 : 20.

Untersucht wurden drei Freiborde :

Freibord 1	= vorhandener Freibord minus 1.50 m
Freibord 2	= vorhandener Freibord minus 0.50 m
Freibord 3	= vorhandener Freibord plus 0.50 m

Ferner wurden den folgenden Schiffsgeschwindigkeiten entsprechende Modellgeschwindigkeiten gefahren :

$V_1 = 6.5 \text{ kn}$ entsprechend $F_n = 0.105$

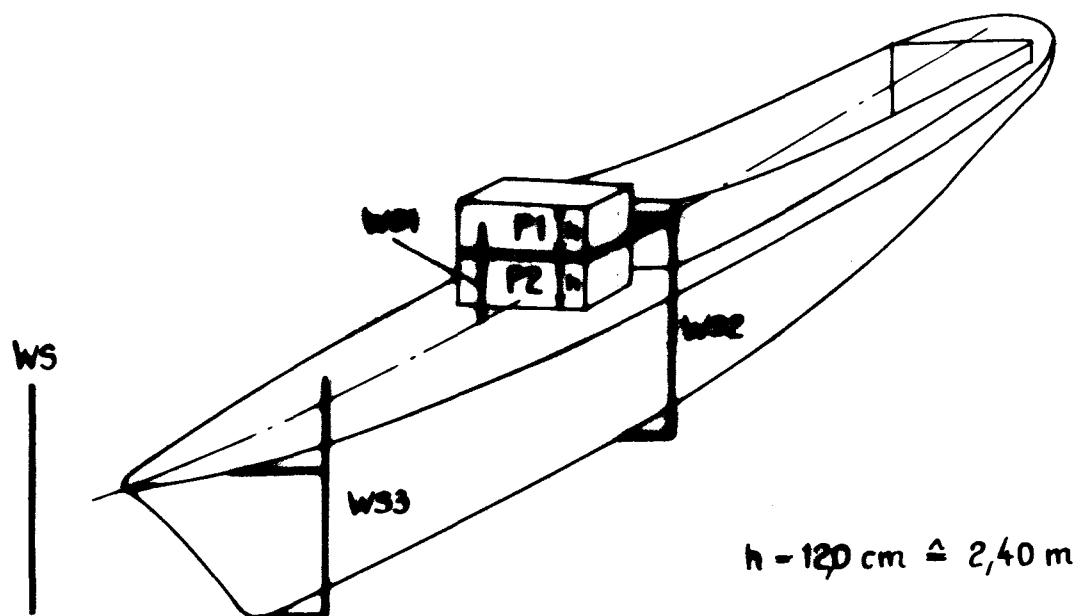
$V_2 = 15 \text{ kn}$ entsprechend $F_n = 0.241$

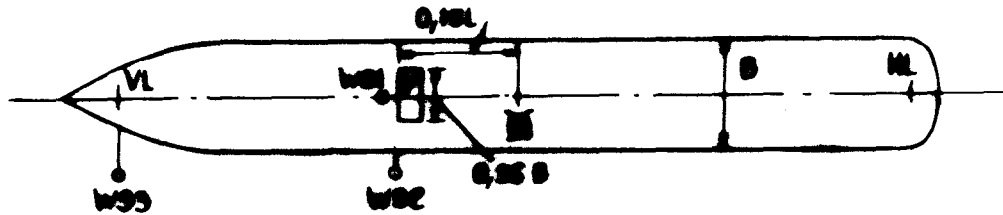
$V_3 = 25 \text{ kn}$ entsprechend $F_n = 0.397$

Die Versuche mit V_1 und V_3 beschränkten sich auf das Modell mit dem Freibord 2.

Gemessen wurden:

- P1 Kraft auf Brückenfrontschott zwischen Brückendeck und Bootsdeck
- P2 Kraft auf Brückenfrontschott zwischen Hauptdeck und Brückendeck
- WS1 Wasserhöhe auf Hauptdeck vor Brückenfrontschott
- WS2 Relativbewegung Wasseroberfläche - Schiff auf Bb-Seite neben VK Brückenfrontschott
- WS3 Relativbewegung Wasseroberfläche - Schiff auf Bb-Seite an VL
- WS Seegang





Die Relativbewegungen, Wasserhöhe und Seegang wurden mit Drahtsonden, die Kräfte mit Kraftgebern (Abb. 2) auf Dehnungsmeßstreifenbasis mit Trägerfrequenzverstärker gemessen. Die Registrierung erfolgte auf einem Analog-Magnetbandgerät. Die Meßwerte wurden analog-digital gewandelt und zur weiteren Auswertung auf digitalen Magnetbändern gespeichert.

Das Modell fuhr frei, wobei durch Regelung der Propellerdrehzahl die Geschwindigkeit konstant gehalten wurde. Die Übertragung der Energie für den Antriebsmotor, die Betätigung der Ruderanlage sowie die Übertragung der Meßdaten erfolgte über ein loses Kabel, das über einen Galgen dem Modell so nachgeführt wurde, daß dadurch die Bewegungen nicht beeinflußt wurden.

4. Versuchsseegänge

Um verschiedene von dem gewählten Schiff in der Natur anzutreffende Seezustände zu erfassen, wurde das Modell in zehn langkämmigen Seegängen untersucht. Diese unregelmäßigen Seegänge werden durch einen programmgesteuerten Wellenerzeuger entfacht und sind somit reproduzierbar.

Häufig werden Seegänge nach dem Parameter "kennzeichnende Wellenhöhe" beurteilt. Das ist in etwa die Wellenhöhe, die ein in dem Seegang befindlicher Beobachter schätzen würde. Außerdem wird auch die mittlere Periode des Seeganges zu seiner Beschreibung herangezogen. Diese beiden Parameter reichen allerdings nicht zu einer eingehenden Beschreibung des Seeganges. Eine solche ist nur durch das Seegangsspektrum möglich. Es gibt die Verteilung der in dem Seegang enthaltenen Energie über die Wellenfrequenz oder die Wellenlänge an.

Aus dem Spektrum läßt sich die kennzeichnende Wellenhöhe berechnen:

$$H = 4 \sqrt{\int_0^{\infty} S(f) df} = 4 \sqrt{m_0}$$

Die kennzeichnenden Wellenhöhen und die mittleren Perioden der verwendeten Versuchsseegänge sind in Abb. 3 a zusammengestellt. Sie sind das Mittel der bei verschiedenen Versuchen bei jeweils gleicher Einstellung des Wellenerzeugers bestimmten Werte.

Die Spektren der Versuchsseegänge sind in den Abbildungen im Anhang 1 dargestellt. In diesen Abbildungen ist die Spektraldichte normiert. Die tatsächliche Spektraldichte (Dimension: cm^2/s) kann aus der normierten durch Multiplikation mit der in den Abbildungen ebenfalls angegebenen Varianz und einem Faktor 2π bestimmt werden. Die beiden ersten Ziffern der Series No. in der Abbildung kennzeichnen den Seegang, die dritte und vierte Ziffer die Versuche, die in dem jeweiligen Seegang gefahren worden sind (auf ihre Bedeutung wird später eingegangen werden). Ein Vergleich der für jeweils gleiche Seegänge, aber bei verschiedenen Versuchen ermittelten Spektren zeigt, daß die Reproduzierbarkeit der Modellseegänge sehr gut ist.

In die Abbildungen A1/1, A1/5 und A1/11 ist außer den Seegangspektren des Modellseeganges auch ein für gleiche kennzeichnende Wellenhöhe und gleiche mittlere Periode berechnetes Standard-Spektrum eingetragen. Dieses heute vielfach benutzte Normspektrum ist von Bretschneider /6/ vorgeschlagen und von Pierson-Moskowitz /7/ auf voll entwickelte Windsee angewandt worden:

$$S(\omega) = 175 \cdot H_{1/3}^2 \cdot T_1^{-4} \cdot \omega^{-5} \cdot \exp \left[-692 T_1^{-4} \cdot \omega^{-4} \right]$$

mit $H_{1/3}$ = mittlere Höhe der 99 $\frac{1}{3}$ % höchsten Wellen

T_1 = $2\pi \frac{m_0}{m_1}$ = eine kennzeichnende Wellenperiode

Dieses Spektrum ist eine mehr oder weniger willkürliche Idealisierung von tatsächlich auftretenden Spektren, deren Form auch bei gleicher Seegangintensität sehr unterschiedlich sein kann. (Vergl. Abb. 4)

5. Versuchsergebnisse: Statistische Kennwerte der Relativbewegung

Zunächst müssen die in Abschnitt 2 definierten statistischen Kennwerte der Relativbewegung am vorderen Lot bestimmt werden. Dies ist auf drei Arten möglich:

1. Aus dem zu der jeweiligen Messung gehörenden Seegangsspektrum wird (siehe Anhang 1) mit Hilfe der theoretisch berechneten Übertragungsfunktion (Abb. 5) das Spektrum der Relativbewegung berechnet. Durch Integrieren findet man die Momente

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(f) df$$
$$m_2 = 4\pi^2 \int_0^{\infty} f^2 S(f) df$$

Mit der Gauß-Verteilung

$$f_G(z_{rel}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi m_0}} e^{-\frac{z_{rel}^2}{2m_0}}$$
$$F_G(Fb) = \int_{-\infty}^{Fb} f_G(z_{rel}) dz_{rel}$$

bzw. der Rayleigh-Verteilung

$$f_R(a) = \frac{a}{m_0} e^{-\frac{a^2}{2m_0}}$$
$$F_R(Fb) = \int_0^{Fb} f_R(a) da = 1 - e^{-\frac{Fb}{2m_0}}$$

ergeben sich die Kennwerte:

$$W_G = 1 - F_G$$

$$W_R = 1 - F_R$$

$$S_1 = \frac{1}{W_G} \left[\sqrt{\frac{m_2}{2\pi}} W_R - F_b \cdot W_G \right]$$

$$\overline{S_2} = W_G \cdot \overline{S_1}$$

$$\overline{a_s} = \frac{1}{W_R} \int_{F_b}^{\infty} a \cdot f_R(a) da$$

Für die mittlere Zahl der Amplituden je Zeiteinheit, die Seite Deck überschreiten, gilt:

$$v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} W_R$$

2. Die Kennwerte werden nach den gleichen Beziehungen berechnet, jedoch unter Benutzung der Momente m_0 und m_2 der aus der gemessenen Relativbewegung bestimmten Spektren. Diese Spektren sind in Anhang 2 in normierter Form (d.h. bezogen auf die Varianz der Relativbewegung) dargestellt. In diesen Diagrammen geben die beiden ersten Stellen der Series No. den Seegang an (vergl. Abb. 3 a). Die dritte Stelle gibt die bei den jeweiligen Versuchen gefahrene Geschwindigkeit an (vergl. Abb. 3 b) und die vierte Stelle den jeweiligen Freibord (siehe Abb. 3 c)
3. Die Kennwerte werden aus der Registrierung direkt nach den in Abschnitt 2 gegebenen Definitionen ermittelt.

In Abb. 6 sind die Werte von $\sqrt{m_0}$ zusammengestellt, die wie vorstehend unter 1. bzw. 2. beschrieben (d.h. aus den Seegangs- bzw. den Bewegungsspektren) ermittelt worden sind. Wenn im Vorgang keine Nichtlinearitäten enthalten wären und die Zeit für den jeweiligen Versuch praktisch unbegrenzt gewesen wäre, müßten die für

einen bestimmten Seegang geltenden Werte (d.h. die jeweils in einer Zeile aufgeführten Werte) gleich sein. Im Hinblick darauf, daß beide Voraussetzungen nicht zutreffen, kann die Übereinstimmung als gut bezeichnet werden. In Abb. 6 ist noch die Breite ϵ^2 des Bewegungsspektrum angegeben. Sie ist definiert als:

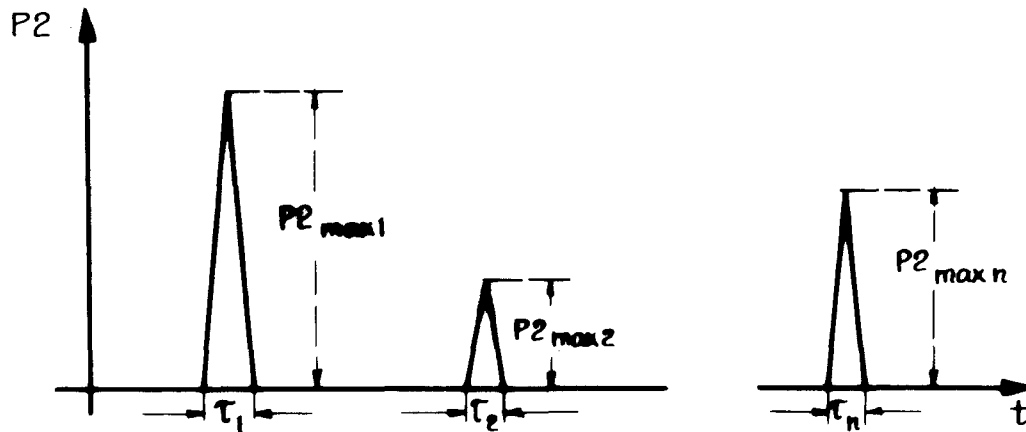
$$\epsilon^2 = \frac{m_0 m_4 - m_2^2}{m_0 m_4}$$

In den Abbildungen 7 bis 12 sind die nach den drei vorgenannten Möglichkeiten bestimmten Kennwerte der Relativbewegung zusammengestellt. Abgesehen von den direkt aus der Registrierung ermittelten Werten, bei denen bedingt durch die statistische Unsicherheit infolge der kleinen Meßzeit eine größere Streuung zu erwarten ist, ist die Übereinstimmung der auf verschiedene Weise berechneten Kennwerte befriedigend.

6. Versuchsergebnisse: Durch Seeschlag verursachte Kräfte

Einige Ausschnitte typischer Registrierungen der auf die als Kraftmeßgeber (vergl. Abb.2) ausgebildeten Frontschotte über dem Haupt- und Brückendeck wirkenden Kräfte werden in den Abbildungen im Anhang 3 gezeigt. Einer eingehenderen Auswertung wurden zunächst nur die Registrierungen der auf das untere Frontschott wirkenden Kräfte unterzogen. Es sei jedoch festgestellt, daß offensichtlich kein einfacher Zusammenhang zwischen den auf die beiden Frontschotte wirkenden Kräfte besteht. Meist sind zwar die Kräfte am unteren Schott größer oder treten überhaupt nur an diesem auf; dabei läßt sich kein bestimmter Grenzwert der Kraft am unteren Schott angeben, dessen Überschreitung auch eine Kraft auf das obere Schott zur Folge hat. Es gibt aber auch Fälle, in denen die am unteren Schott auftretende Kraft unter der gleichzeitig auf das obere Schott wirkenden bleibt.

Aus den Registrierungen der auf das untere Frontschott wirkenden Kräfte sind für die einzelnen Versuche folgende Kraftkennwerte ermittelt worden:



1. Zeitlicher Mittelwert der Kraft, gemittelt über die Zeiten während derer die auftretende Kraft ungleich Null ist.

$$F_1 = \frac{1}{\sum \tau_i} \sum_1^n \int_{\tau_i} P2 \, dt$$

2. Mittelwert der Kraftamplituden

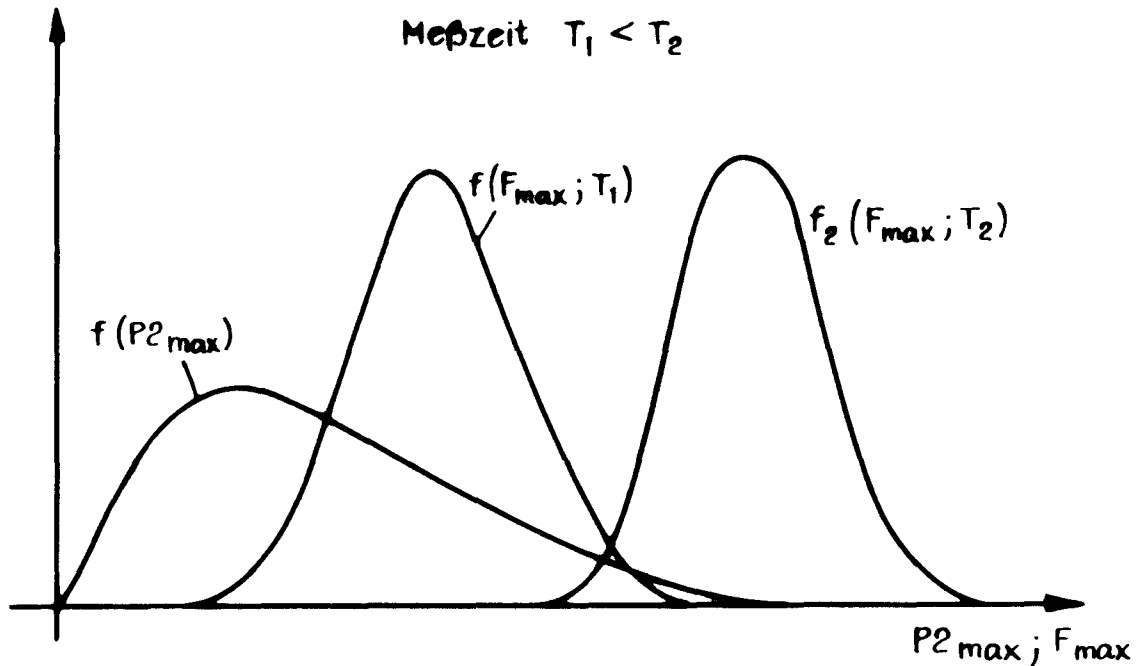
$$F_2 = \frac{1}{n} \sum_1^n P2_{max i}$$

3. GröÙte während einer MeÙfahrt aufgetretene Kraftamplitude

$$F_{max} = \max_n (P2_{max i})$$

Diese Kennwerte sind in Abb. 13 zusammengestellt.

Wegen der endlichen MeÙzeit sind die Mittelwerte F_1 und F_2 zufällige Größen. Auch bei F_{max} handelt es sich um eine zufällige Variable, deren Verteilung sowohl von der Verteilung der Kraftamplituden als auch von der MeÙzeit abhängt. Diese Zusammenhänge sind in folgender Skizze schematisch dargestellt:



Für eingehendere Angaben über die Verteilung der Meßwerte bzw. der aus diesen abgeleiteten Kraftkennwerte reichen die vorliegenden Daten nicht aus. Um die dafür erforderlichen Daten zu erhalten, müßte ein wesentlich umfangreicheres Versuchsprogramm durchgeführt werden als im Rahmen dieser Arbeit möglich war. Im Hinblick darauf, daß bisher aber kaum überhaupt Angaben über durch Seeschlag erzeugte Kräfte vorliegen, stellen die in dieser Arbeit gebrachten Werte trotz der statistischen Unsicherheit, mit der sie behaftet sind, eine für die Praxis sehr nützliche Information dar.

Es sei hier erwähnt, daß auch unter determinierten Randbedingungen (konstanter Strahlquerschnitt, vorgegebene Strahlgeschwindigkeit und -auftreffrichtung und jeweils gleiche Strahlstirn) durchgeführte Versuche /9/ Kräfte ergeben haben, die stark streuten: Der Wert, der in 90 von 100 Versuchen nicht überschritten wurde (d.h. der zehntgrößte Wert), betrug etwa das doppelte des Wertes, der in 10 von 100 Fällen unterschritten wurde (d.h. des zehntkleinsten Wertes); die

Maximalwerte betragen das 3- bis 5-fache des jeweils zehntkleinsten Wertes. Da bei den hier in Rede stehenden Versuchen aber der den Wasserschlag verursachende "Strahl" von den Wellen verursacht wird, die nicht nur bezüglich ihrer Größe zufällig sind, sondern auch zu verschiedensten Auffallbedingungen führen, ist es klar, daß mit einer noch größeren Streuung der durch ihn verursachten Kräfte gerechnet werden muß.

Für die praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse ist auch die Frage der Übertragbarkeit auf die Großausführung von entscheidender Bedeutung. Leider liegen über die dabei auftretenden Maßstabeffekte noch kaum Untersuchungen vor. Zwar beschäftigt man sich auch im Wasserbau mit einschlägigen Fragen /9, 10/; die dort durchgeführten Untersuchungen sind aber weder weit genug fortgeschritten noch unmittelbar auf den hier vorliegenden Fall übertragbar. Es spricht aber viel dafür, daß man mit einer Umrechnung nach dem Froude'schen Ähnlichkeitsgesetz praktisch brauchbare Ergebnisse erhält. Diese scheinen auf der sicheren Seite zu liegen, d.h. die aus Modellversuchen auf die Großausführung umgerechneten Kräfte sind größer als die unmittelbar an der Großausführung gemessenen Kräfte.

7. Zusammenhang zwischen den Kennwerten für die Kräfte und den Kennwerten für die Relativbewegung zwischen Schiff und Wasseroberfläche

Um Zusammenhänge zwischen den Kraftkennwerten y (wobei $y = F_1, F_2, F_{\max}$) und den Kennwerten der Relativbewegung x (wobei $x = W_G, W_R, \bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{a}_S$) festzustellen, sind Regressionsrechnungen durchgeführt worden. Diese liefern für alle möglichen Kombinationen von Kraft- und Bewegungskennwerten je eine Beziehung der Form

$$\bar{y} = a + bx$$

Dabei werden die Konstanten a und b jeweils so bestimmt, daß die Summe der Quadrate der Unterschied zwischen den im Modellversuch bestimmten y -Werten und den entsprechenden nach obiger Beziehung bestimmten \bar{y} -Werte ein Minimum wird.

Die nach der Regressionsgleichung bestimmten Werte $\bar{y} = \bar{y}(x)$ sind das Mittel der zu bestimmten Bewegungskennwerten x gehörenden Kraftkennwerte. Für die Abweichungen der experimentell gefundenen y -Werte von den zugehörigen \bar{y} -Werten gibt es mehrere Gründe: Die Kraftkennwerte sind - wie bereits erwähnt worden ist - Zufallsgrößen, die - auch bei gleichem Seegang - bei jeder einzelnen Meßfahrt zufallsbedingt irgendeinen Wert aus einem nicht näher bekannten Wertebereich annehmen. Daneben sind Abweichungen der y - von den \bar{y} -Werten auch deshalb zu erwarten, weil die Kennwerte der Relativbewegung die die Kräfte verursachenden hydrodynamischen Effekte nur pauschal erfassen.

Die hier relevanten Ergebnisse der Regressionsrechnungen sind in der Tabelle in Abbildung 14 zusammengestellt. Außer den Konstanten a und b enthält die Tabelle auch die gesamten Varianzen s_y^2 der Kraftkennwerte y sowie die Varianzen $s_{y|x}^2$ der Kraftkennwerte y bezüglich der Regressionsgeraden \bar{y} . Der durch die Regressionsgerade erklärte Teil der Gesamtvarianz

$$r^2 = (s_y^2 - s_{y|x}^2) / s_y^2$$

ist in der Tabelle ebenfalls aufgeführt. Je größer r^2 ist, desto besser wird der Zusammenhang zwischen x und y durch die Regressionsgerade erfaßt. Im Hinblick auf die erwähnte erhebliche Streuung der Kraftkennwerte, die durch die Regressionsgerade nicht "erklärt" werden kann, kann man davon ausgehen, daß in den Fällen, in denen r^2 über etwa 0.5 liegt, die Abhängigkeit der Kraftkennwerte von den Bewegungskennwerten sich recht gut durch die Regressionsgerade darstellen läßt. Der häufig als Maß für die stochastische Abhängigkeit benutzte Korrelationskoeffizient r ist dabei gleich 0.7. Einschränkend muß hier freilich hinzugefügt werden, daß wegen der kleinen Zahl von Daten die r -Werte statistisch nicht ausreichend gesichert sind und deshalb nicht auszuschließen ist, daß sie aufgrund zusätzlicher Informationen geändert werden müssen. Das gleiche gilt auch für die Konstanten a und b der Regressionsgleichung. Alle diese Größen stellen die mit dem zur Zeit verfügbaren Datenmaterial bestmöglichen Schätzungen dar.

Zur Durchführung der Regressionsrechnungen sei noch angemerkt, daß die bei den Geschwindigkeiten 1 und 3 ermittelten Werte dabei unberücksichtigt geblieben sind (auf den Einfluß der Geschwindigkeit wird im folgenden noch gesondert eingegangen). Für die Bewegungskennwerte sind jeweils die aus der Registrierung der Bewegungen direkt bestimmten Werte verwendet worden. Es kann angenommen werden, daß dadurch der Zusammenhang besser wiedergegeben wird, weil dabei die bei bestimmten Meßfahrten registrierten Daten soweit wie möglich gepaart werden.

Für die Fälle, für die sich die beste Korrelation zwischen jeweils einem der drei Kraftkennwerte y und einem der Bewegungskennwerte x ergibt (d.h. für die sich die größten Werte für r^2 ergeben), sind die Regressionsgeraden $\bar{y} = \bar{y}(x)$ sowie die experimentell bestimmten Punkte (x,y) in den Abbildungen 15 bis 17 dargestellt. Für die Bewegungsgrößen x sind dabei außer den aus der Registrierung direkt ermittelten Werten auch die Werte eingetragen, die aus den aus der gemessenen Relativbewegung bestimmten Spektren berechnet worden sind. Dadurch wird ein Eindruck der statistisch bedingten Streuung der Bewegungskennwerte vermittelt. Da für die Kraftkennwerte im allgemeinen nur jeweils ein Wert verfügbar ist, können für deren Streuung keine solchen Hinweise gegeben werden. Nur für den Fall Seegang 32, Freibord 2, Geschwindigkeit 2 liegen zwei Messungen vor. Die Differenz zwischen diesen unter gleichen Bedingungen bestimmten Kraftkennwerten ist von gleicher Größenordnung wie die Abweichungen der übrigen Punkte von der Regressionsgeraden. Dies legt ebenso wie die Lage der für verschiedene Freiborde geltenden Punkte zu einander den Schluß nahe, daß diese Abweichungen nicht durch die unterschiedlichen Freiborde bedingt sind, sondern nur die Tatsache widerspiegeln, daß es sich bei den Kraftkennwerten eben um zufällige Variable handelt. Das bedeutet aber, daß sich die Mittelwerte der Kraftkennwerte als Funktion nur der Bewegungskennwerte - insbesondere auch unabhängig vom jeweiligen Freibord - darstellen lassen.

8. Einfluß der Schiffsgeschwindigkeit auf durch Seeschlag verursachte Kräfte

Wegen der nur sehr beschränkten experimentellen Daten über den Einfluß der Schiffsgeschwindigkeit einerseits und weil andererseits den Maximalwerten der durch Seeschlag verursachten Kräfte die größte praktische Bedeutung zukommt, wird im folgenden nur auf die Abhängigkeit der mittleren maximalen Kraft \bar{F}_{\max} von der Geschwindigkeit eingegangen.

Es liegt nahe, anzunehmen, daß \bar{F}_{\max} näherungsweise dem Quadrat der Schiffsgeschwindigkeit proportional ist. Als beste Darstellung der Abhängigkeit von \bar{F}_{\max} von einem Kennwert für die Schiffsbewegung war

$$\bar{F}_{\max} = 1.27 + 38.87 W_R$$

gefunden worden. Diese Beziehung gilt für eine Geschwindigkeit entsprechend $Fn_2 = 0.241$. Für andere Geschwindigkeiten (entsprechend Froude-Zahlen Fn_i) ergibt sich mit der oben gemachten Annahme

$$\bar{F}_{\max}(Fn_i) = (1.27 + 38.87 W_R) \left(\frac{Fn_i}{Fn_2} \right)^2$$

In Abb. 18 ist $\bar{F}_{\max}(Fn_i)$ für $Fn_1 = 0.105$, $Fn_2 = 0.241$ und $Fn_3 = 0.397$ über W_R aufgetragen. Außerdem sind in dieses Bild die experimentell bestimmten Werte für \bar{F}_{\max} eingetragen. Außer den Werten für die drei untersuchten Geschwindigkeiten bei Seegang 88 sind für die mittlere Geschwindigkeit auch die Werte für andere Seegänge eingezeichnet worden, um einen qualitativen Eindruck der Streuung dieser Werte um \bar{F}_{\max} zu vermitteln.

Wenn aus der geringen Zahl von Daten überhaupt eine Folgerung abgeleitet werden kann, dann nur die Feststellung, daß die experimentell für Fn_1 und Fn_3 bestimmten Werte \bar{F}_{\max} nicht mehr von den für diese Froude-Zahlen berechneten Mittelwerten \bar{F}_{\max} abweichen, als im Hinblick auf die zufallsbedingte Streuung der \bar{F}_{\max} -Werte zu erwarten ist. Ohne Zweifel wäre es sehr wünschenswert, wenn die oben gemachte Annahme

über den Zusammenhang zwischen F_{\max} und Schiffsgeschwindigkeit durch weitere experimentelle Untersuchungen besser abgesichert bzw. dieser eingehender untersucht werden könnte.

Schrifttum

- /1/ Krappinger, O.: Freibord und Freibordvorschrift.
Jahrb. STG 58. Band, 1964
- /2/ van Sluis : Vertical Ship Motions and Deck Wetness
SNAME, Spring Meeting Paper No. 7, 1969.
- /3/ Cleary, W.A. : Load Lines - The Lever of Safety
SNAME, 1975, p. 191
- /4/ Keil, H. : Über die Bestimmung von Spektren des
Seegangs und der Schiffsbewegungen
Schiffstechnik, Bd. 11, Heft 59, 1964
- /5/ Kirsch, M. : Die Berechnung der Bewegungsgrößen der
gekoppelten Tauch- und Stampf-schwingungen
nach der erweiterten Streifenmethode von
Grim und die Berechnung der Wahrschein-
lichkeit für das Überschreiten bestimmter
Schranken durch diese Größen
IfS-Bericht 241, 1969
- /6/ Bretschneider, C.L. : A One-Dimensional Gravity Wave Spectrum,
in "Ocean Wave Spectra", Englewood Cliffs,
Prentice-Hall, 1961
- /7/ Pierson, W.J. : A Proposed Spectral Form for Fully Developed
L.Moskowitz : Wind Seas...
Techn.Pap.U.S.Nav.Ocean.Office,
New York University, 1963
- /8/ - : 4th International Ship Structure Congress,
Tokyo 1970
Report of Committee 1
- /9/ Führböter, A. : Der Druckschlag durch Brecher auf Deichböschungen
Mitteilungen des Franzius-Instituts für Grund-
und Wasserbau der Technischen Hochschule Hannover
Heft 28, Hannover 1966
- /10/ Führböter, A. : Über die Bedeutung des Lufteinschlages für die
Energieumwandlung in Brandungszonen
Mitteilungen des Franzius-Instituts für Grund-
und Wasserbau der Technischen Hochschule Hannover
Heft 36, Hannover 1971

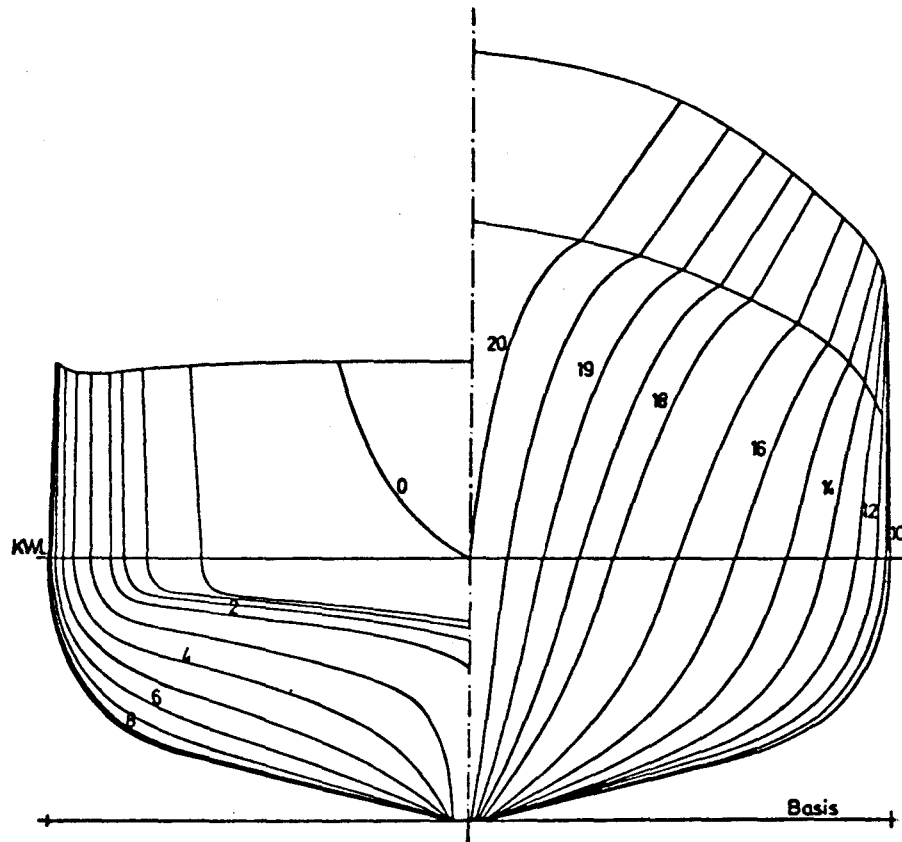


Abb. 1 Spannriß

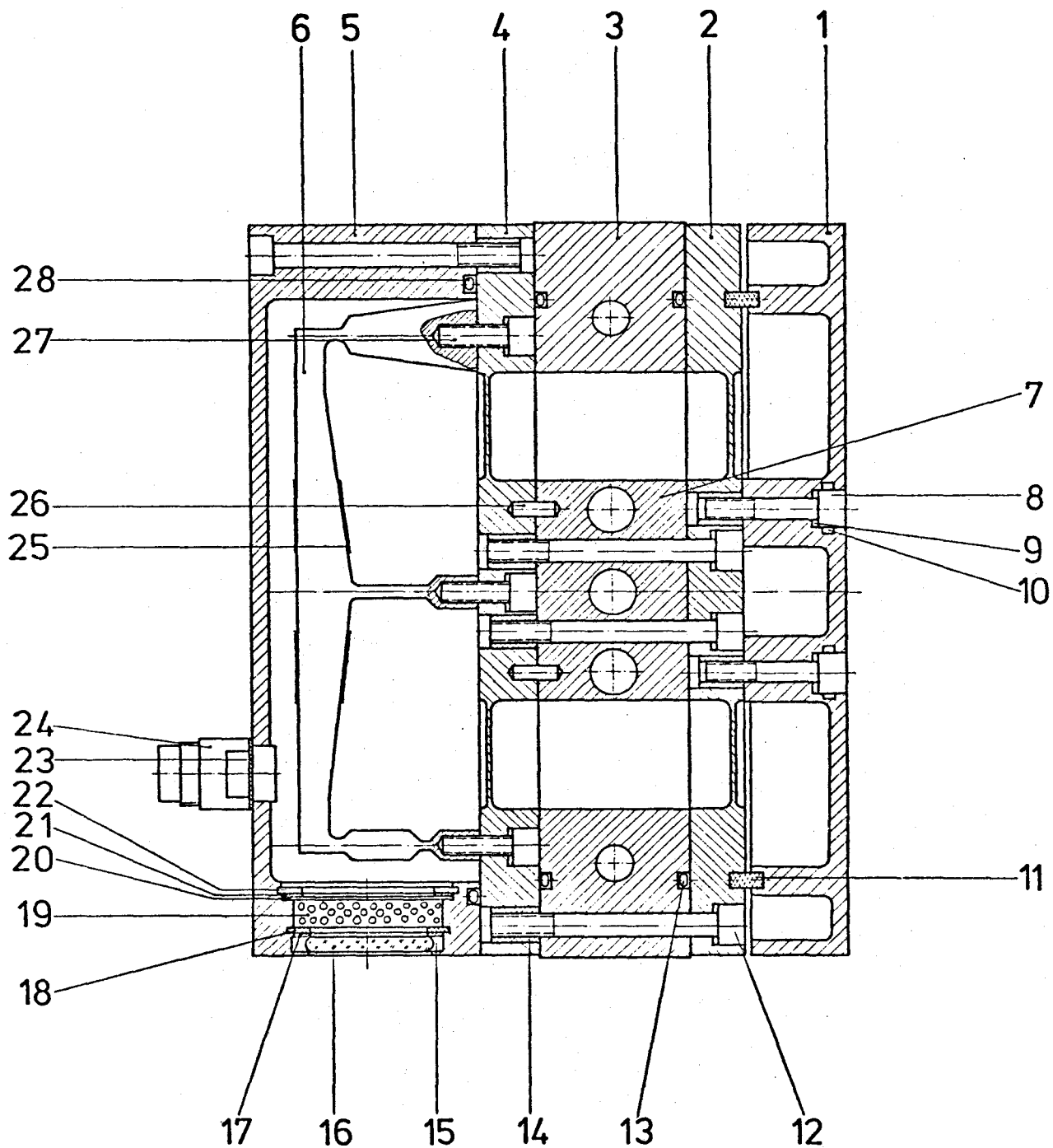


Abb. 2 Kraftmeßgeber

O-Ring 155-4			28
Zylinderschraube M 6x15	912	Niro	27
Zylinderstift 4x10	7		26
Hottinger DMS 10/120 LE 11 m.Z 65 geklebt			25
Euchner SD+BS 4			24
Dichtung 20/16 ϕ x 1		Fiber	23
Seegerring I 45 x 1,75	472		22
Scheibe PS 35x4,5x1			21
Sieb			20
KC Trockenperle			19
Seegerring I 40 x 1,75	472		18
Scheibe 40x30x1,5		Ms	17
Schauglas 35x4			16
O-Ring 34,2-3			15
Ensat M 6 In 22b			14
O-Ring 150-4			13
Zylinderschraube M 6x 60	912	Niro	12
Ha-He Porengummischnur 10/4		Gummi	11
O-Ring 10-25			10
Unterlegscheibe 11/6,5 x 1,5		St 60	9
Zylinderschraube M 6x 30	912	Niro	8
Distanzstück 40 x 60 x 20		St 40 57	7
Meßglied	17 200	C 60	6
Deckel 120x200x60		AL Mg 3	5
Grundplatte 120 x 200 x 15		AL Mg 3	4
Rahmen 121 x 201 x 40		St 40 57	3
Führungsplatte 120 x 200 x 15		AL Mg 3	2
Vorderplatte 120 x 200 x 26,5		AL Mg 3	1
Benennung	DIN	Werkstoff	Lfd. Nr.

Abb. 2a Legende zur Abb. 2

Seegang	Kennz.Wellenh.H	Mittl.Periode T_1
32	28,4 cm	1,97 sec
33	38,6 cm	2,07 sec
35	15,0 cm	1,96 sec
61	21,9 cm	1,53 sec
62	22,9 cm	1,58 sec
66	14,9 cm	1,42 sec
68	23,4 cm	1,58 sec
82	28,8 cm	1,77 sec
85	18,6 cm	1,59 sec
88	26,4 cm	1,71 sec

a) Seegänge

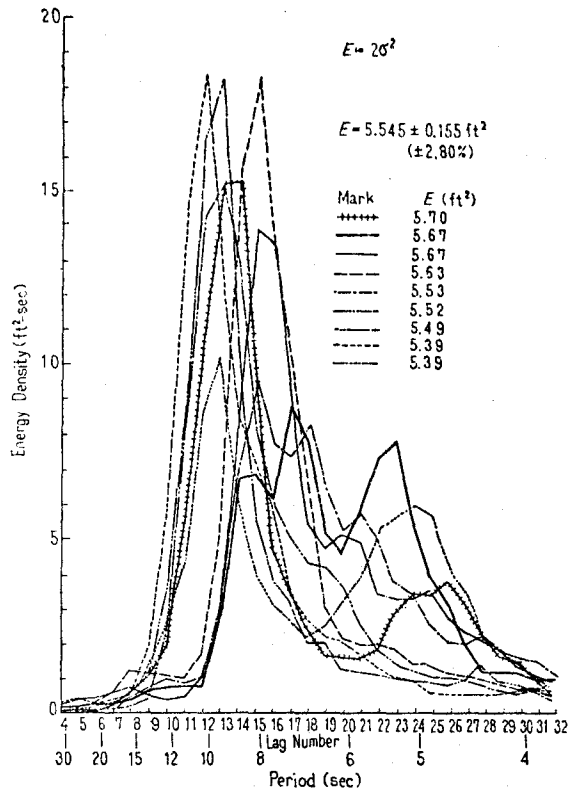
Geschwindigkeit	Fn	$V kn $
1	0,105	6,5
2	0,241	15
3	0,397	25

b) Geschwindigkeiten

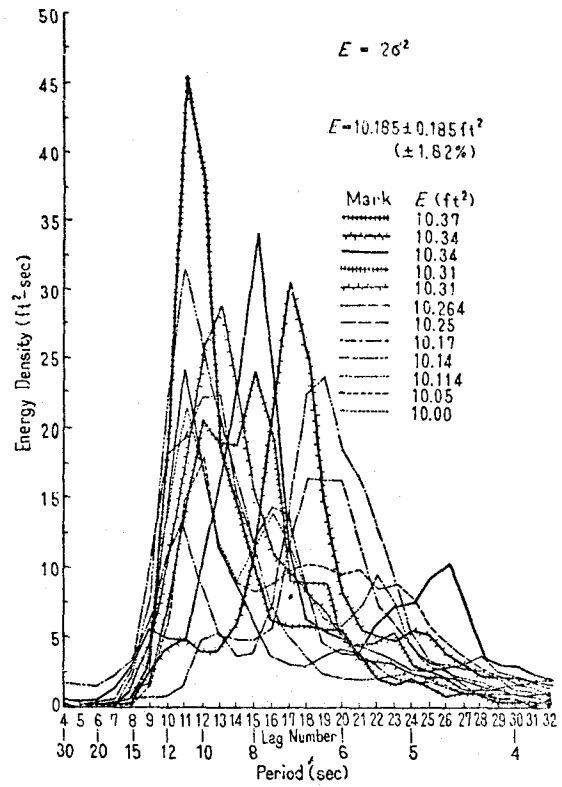
Freibord Nr.	Freibord an VL
1	4,5 m
2	5,5 m
3	6,5 m

c) Freiborde

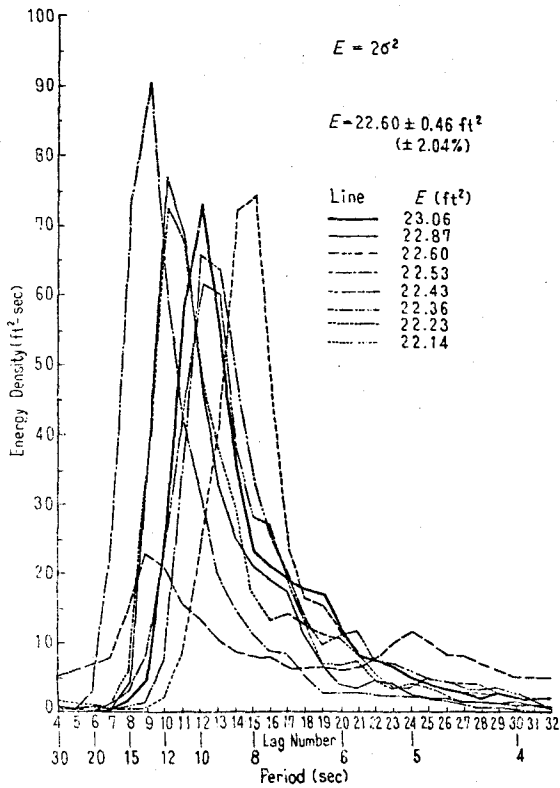
Abb.3 Übersicht über die bei den Versuchen verwendeten Seegänge, Freiborde und Geschwindigkeiten



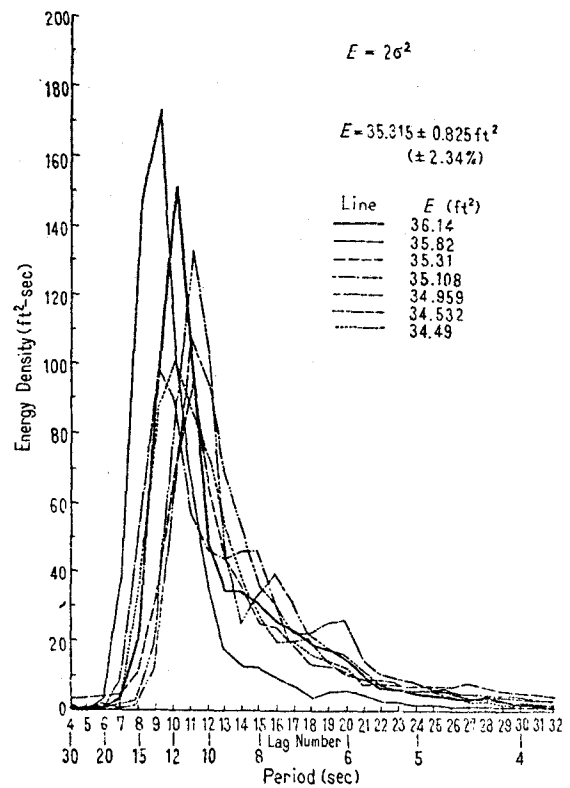
(1)



(2)



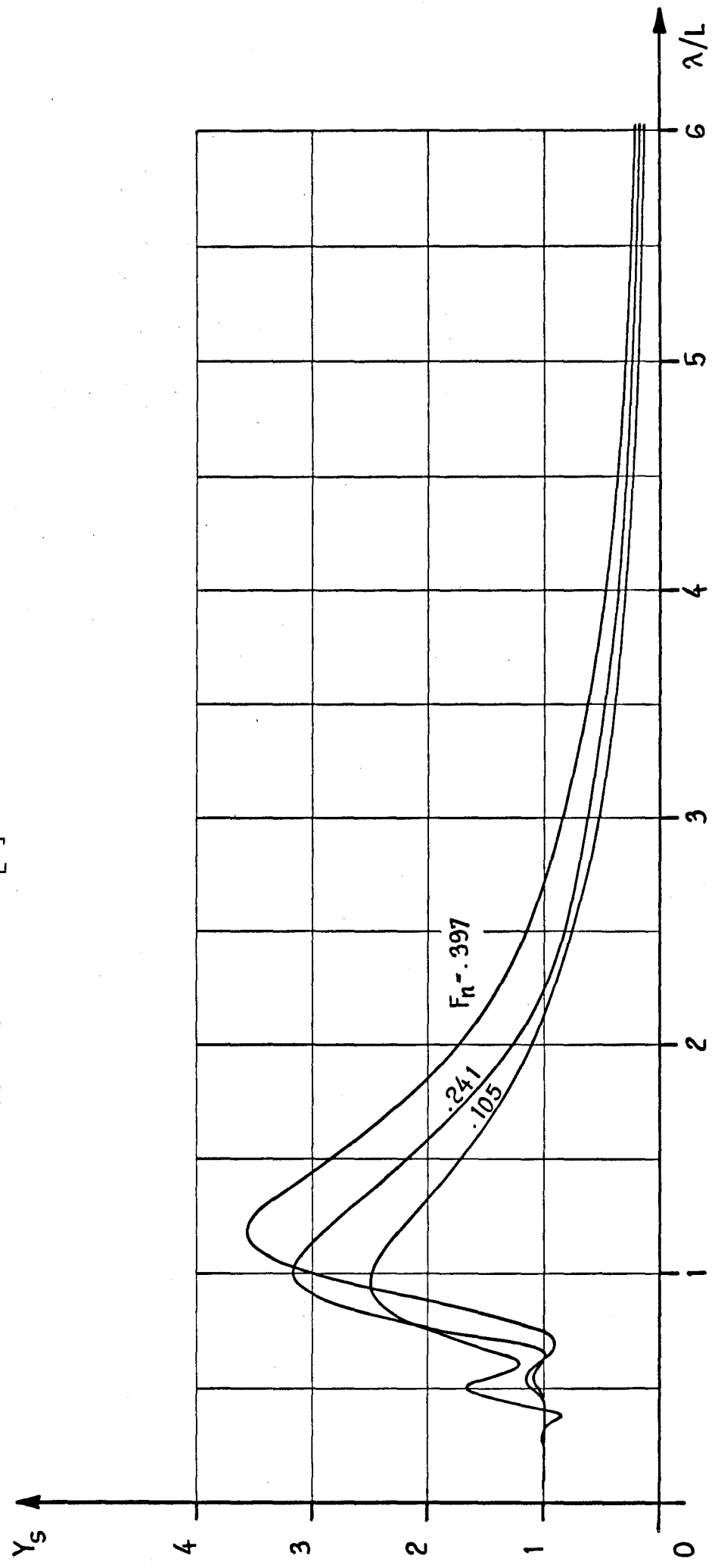
(3)



(4)

Abb. 4 An einem Ort bei jeweils gleicher Seegangintensität bestimmte Spektren [8]

Abb. 5 Übertragungsfunktion der Relativbewegung, berechnet nach [5]



Seegang	F n	Freibord 1			Freibord 2 > Freibord 1			Freibord 3 > Freibord 2		
		aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	Breite des Bew.-Spektr.	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	Breite des Bew.-Spektr.	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	Breite des Bew.-Spektr.
32					18.458 18.722	18.155 17.632	.075 .066	18.879	18.836	.062
33		23.694	21.043	.083	23.080	21.817	.103	23.950	22.439	.114
35					10.426	11.515	.023			
61					9.890	11.072	.051			
62	0,241				12.865	14.751	.048			
66					4.697	5.097	.073			
68					12.219	12.973	.046			
82		20.557	18.690	.048	18.913	19.776	.039	19.355	20.097	.048
85		9.998	10.178	.060	9.713	11.327	.054			
88		18.174	16.352	.040	17.751	18.385	.043	17.675	19.360	.041
	0,105				14.653	14.970	.088			
	0,397				16.834	16.574	.033			

Abb. 6 $\sqrt{m_0}$ in cm des Spektrums der Relativbewegung an VL

Seegang	F _n	Freibord 1				Freibord 2 > Freibord 1				Freibord 3 > Freibord 2			
		aus Seegangs- Spektrum	aus Beweg.- Spektrum	aus Registrierung	aus Seegangs- Spektrum	aus Beweg.- Spektrum	aus Registrierung	aus Seegangs- Spektrum	aus Beweg.- Spektrum	aus Registrierung	aus Seegangs- Spektrum	aus Beweg.- Spektrum	aus Registrierung
32		.137	--	--	.0836 .0866	.0799 .0736	.0835 .0675	.0531	.0523	.0652			
33		.194	.165	.165	.121	.135	.137	.1010	.0867	.1041			
35		.0326	--	--	.0724	.0133	.0132						
61					.0050	.0104	.0074						
62	0,241				.0237	.0417	.0403						
66					0	0	0						
68					.0185	.0247	.0165						
82		.159	.136	.121	.0888	.0986	.1082	.0575	.0645	.0717			
85		.0202	.0215	.0591	.0043	.0117	.0098						
88		.130	.105	.0561	.0754	.0822	.0721	.0422	.0572	.0526			
	0,105				.0409	.0440	.0377						
	0,397				.0649	.0617	.0403						

Abb. 7 Wahrscheinlichkeit W_6 für das Überschreiten von Seite Deck

Seegang	F n	Freibord 1				Freibord 2 > Freibord 1			Freibord 3 > Freibord 2		
		aus Seegangs- Spektrum	aus Beweg.- Spektrum	aus Registrierung	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Registrierung	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Registrierung	
32		.551	—	—	.385 .396	.372 .350	.333 .364	.271	.268	.329	
33		.688	.621	.725	.503	.543	.574	.444	.396	.429	
35		.183	—	—	.050	.086	.105				
61					.036	.069	.014				
62	0,241				.140	.223	.257				
66					0	0	0				
68					.113	.145	.125				
82		.608	.547	.632	.403	.435	.609	.289	.316	.413	
85		.122	.129	.051	.032	.077	.083				
88		.529	.455	.443	.356	.381	.463	.226	.288	.292	
	0,105				.220	.233	.216				
	0,397				.318	.305	.275				

Abb. 8 Wahrscheinlichkeit W_R für das Auftreten von Amplituden $>$ Freibord

Seegang	F n	Freibord 1				Freibord 2				Freibord 3				Freibord 2				Freibord 1			
		aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Registrierung	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	
32		9.52	—	—	8.44 8.61	8.22 7.85	7.43 4.74	7.97	7.91	4.02											
33		13.10	11.14	7.01	11.65	10.72	6.67	11.37	10.31	3.58											
35		4.36	—	—	3.42	4.03	2.56														
61					3.12	3.75	.29														
62	0,241				4.83	5.98	2.77														
66					.81	.95	0														
68					4.44	4.89	1.68														
82		10.81	9.45	4.53	8.74	9.33	4.07	8.28	8.76	3.32											
85		3.68	3.75	1.68	3.03	3.88	2.16														
		9.10	7.81	1.93	7.96	8.36	3.83	7.19	8.25	2.39											
88	0,105				6.66	6.12	4.14														
	0,397				7.35	7.16	3.67														

Abb. 9 Mittlere Höhe des Wassers über Deck während der Überschreitung [cm] \bar{S}_1

Seegang	F _n	Freibord 1				Freibord 2 > Freibord 1		Freibord 3 > Freibord 2		
		aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Registrierung	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Registrierung	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Registrierung
32		1.309	—	—	.705 .746	.657 .578	.620 .320	.423	.414	.262
33		2.535	1.834	1.155	1.569	1.293	.914	1.153	.893	.373
35		.142	—	—	.025	.054	.034			
61					.016	.039	0			
62	0,241				.115	.249	.112			
66					0	0	0			
68					.082	.121	.028			
82		1.722	1.285	.547	.776	.920	.440	.476	.564	.238
85		.074	.081	.010	.013	.045	.021			
88		1.180	.820	.108	.600	.687	.276	.304	.472	.126
	0,105				.538	.269	.156			
	0,397				.477	.442	.148			

Abb.10 Mittlere Höhe der Wasseroberfläche über Deck (gemittelt über gesamte Zeit) [cm] \bar{S}_2

Seegang	F _n	Freibord 1				Freibord 2 > Freibord 1			Freibord 3 > Freibord 2		
		aus Seegangs- Spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Registrierung	aus Seegangs- Spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Registrierung	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Registrierung	
32		11.74	—	—	10.04 10.27	9.76 9.28	8.76 6.12	9.27	9.20	9.96	
33		16.70	13.96	8.79	14.34	13.07	7.90	13.70	12.29	10.89	
35		4.97	—	—	3.76	4.48	3.07				
61					3.42	4.16	.49				
62	0,241				5.46	6.89	3.79				
66					.84	.98	—				
68					4.99	5.54	2.47				
82		13.50	11.63	6.16	10.44	11.22	5.35	9.66	10.28	9.82	
85		4.14	4.23	2.20	3.31	4.31	2.36				
88	0,105	11.16	9.44	2.57	9.42	9.94	4.33	8.29	9.63	11.39	
	0,397				6.83	7.07	5.06				
					8.63	8.39	3.72				

Abb. 11 Mittelwert der Überschreitungsmaxima [cm] $\overline{\alpha_s}$

Seegang	F n	Freibord 1				Freibord 2 > Freibord 1		Freibord 3 7 Freibord 2		
		aus Seegangs- Spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Registrierung	aus Seegangs- Spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Seegangs- spektrum	aus Beweg.- spektrum	aus Registrierung	
32		.443	—	—	.313 .319	.190 .176	.257 .275	.218	.136	.255
33		.538	.304	.558	.424	.250	.494	.349	.199	.325
35		.148	—	—	.041	.044	.081			
61					.038	.043	.015			
62	0,241				.137	.129	.244			
66					0	0	0			
68					.113	.086	.122			
82		.536	.295	.534	.355	.236	.521	.256	.172	.355
85		.120	.763	.496	.031	.045	.081			
88		.485	.255	.402	.326	.212	.420	.204	.159	.257
	0,105				.161	.133	.154			
	0,397				.344	.165	.298			

Abb. 12 Mittlere Frequenz der Überschreitungen [1/s] v

Seegang	F _n	Freibord 1			Freibord 2 > Freibord 1			Freibord 3 > Freibord 2		
		F ₁	F ₂	F _{max}	F ₁	F ₂	F _{max}	F ₁	F ₂	F _{max}
32					2.12 1.42	9.31 10.19	17.58 27.16	1.38	7.39	17.30
33		2.63	7.5	27.24	1.83	8.28	21.16	1.69	5.88	17.69
35					0.7	—	—			
61					0.7	—	—			
62	0,241				0.81	3.77	15.76			
66					0	—	—			
68					0.75	3.45	6.65			
82		2.46	7.21	36.82	1.78	5.74	16.92	1.02	4.94	13.42
85		0.88	3.42	7.25	0.70	0.94	0.94			
		2.31	5.64	17.8	1.2	4.16	16.53	2.31	1.33	2.8
88	0,105				0.71	1.34	1.76			
	0,397				3.67	8.83	44.04			

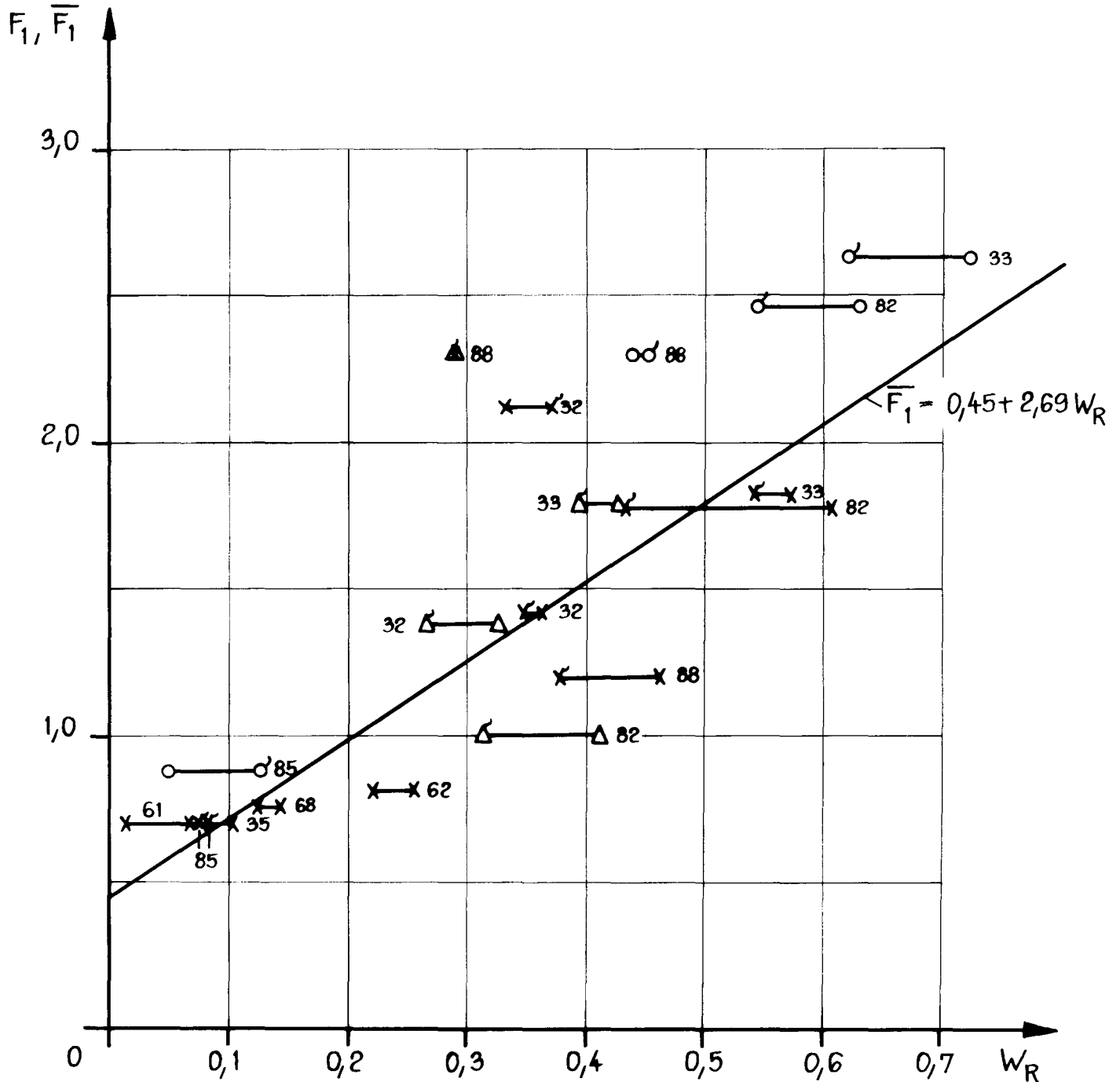
Abb. 13 Kraftkennwerte [kp]

x	y	S_y^2	a	b	$S_{y x}^2$	r^2	r
W_E	F_1	0,437	0,537	12,297	0,164	0,625	0,790
	F_2	8,121	2,034	44,372	4,724	0,418	0,646
	F_{max}	95,453	2,915	172,225	42,493	0,555	0,745
W_R	F_1	0,437	0,451	2,689	0,154	0,649	0,806
	F_2	8,121	2,060	8,785	5,324	0,344	0,586
	F_{max}	95,453	1,269	38,871	36,464	0,618	0,786
\bar{S}_1	F_1	0,437	0,503	0,246	0,251	0,426	0,652
	F_2	8,121	0,719	1,204	3,510	0,568	0,754
	F_{max}	95,453	2,627	3,402	60,707	0,364	0,603
\bar{S}_2	F_1	0,437	0,923	1,561	0,190	0,564	0,751
	F_2	8,121	3,329	5,934	4,676	0,424	0,651
	F_{max}	95,453	8,811	20,385	54,775	0,426	0,652
\bar{a}_S	F_1	0,437	1,082	0,057	0,430	0,017	0,130
	F_2	8,121	3,106	0,349	7,285	0,103	0,321
	F_{max}	95,453	10,243	0,845	93,731	0,018	0,134

Abb. 14 Ergebnisse der Regressionsrechnung zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Bewegungs- und Kraft-Kennwerten

Fb	Bewegungsspektrum	W _R aus Registrierung
1	♂	○
2	×	×
3	Δ	Δ

Die Ziffern an den Punkten bezeichnen den Seegang

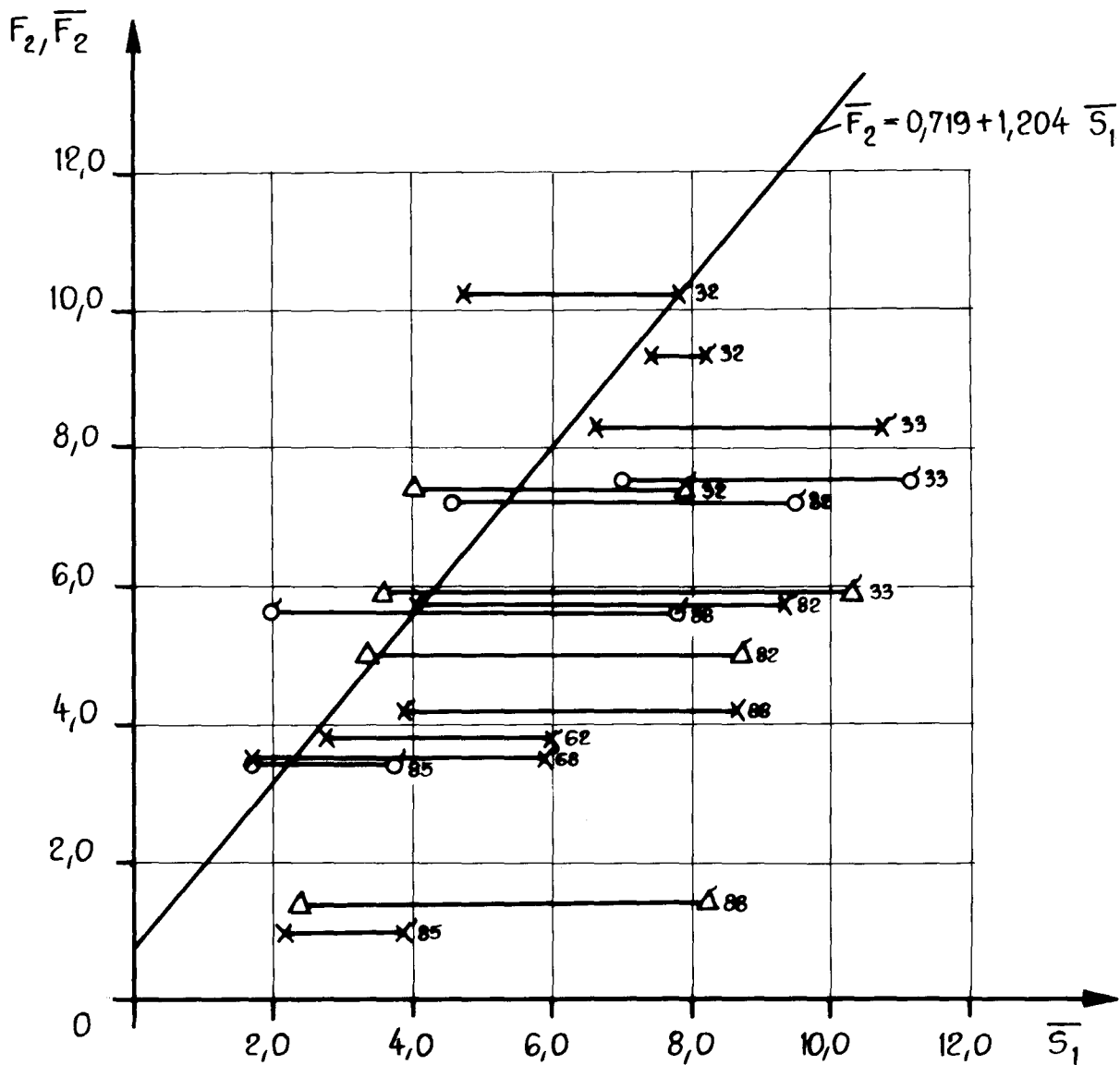


Zeitlicher Mittelwert der Kraft durch Wasserschlag F_1 als Funktion der Wahrscheinlichkeit W_R , daß die Wellenamplitude Seite Deck überschreitet.

Abb. 15

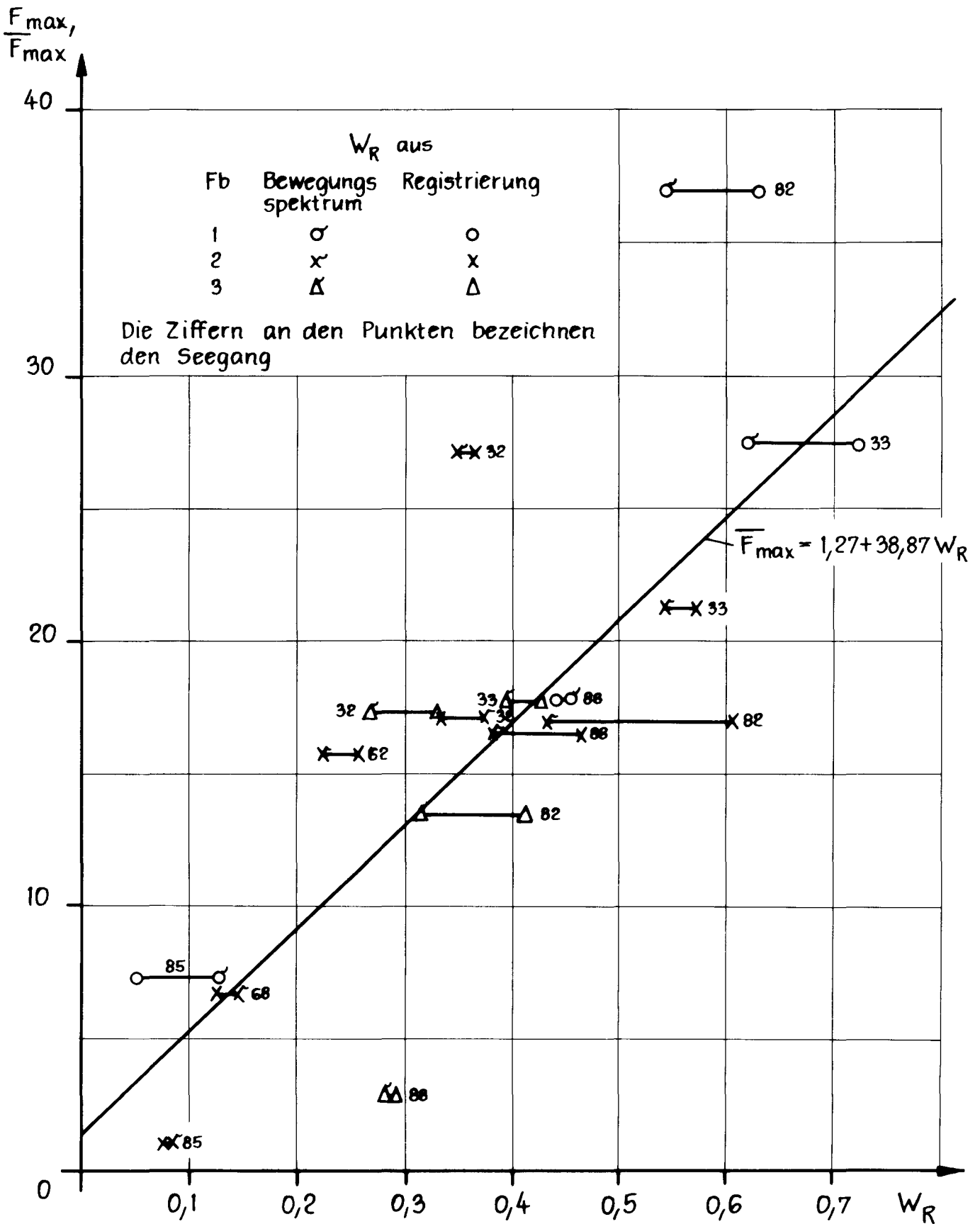
Fb	Bewegungs spektrum	\bar{S}_1 aus Registrierung
1	○	○
2	x	x
3	△	△

Die Ziffern an den Punkten bezeichnen den Seegang



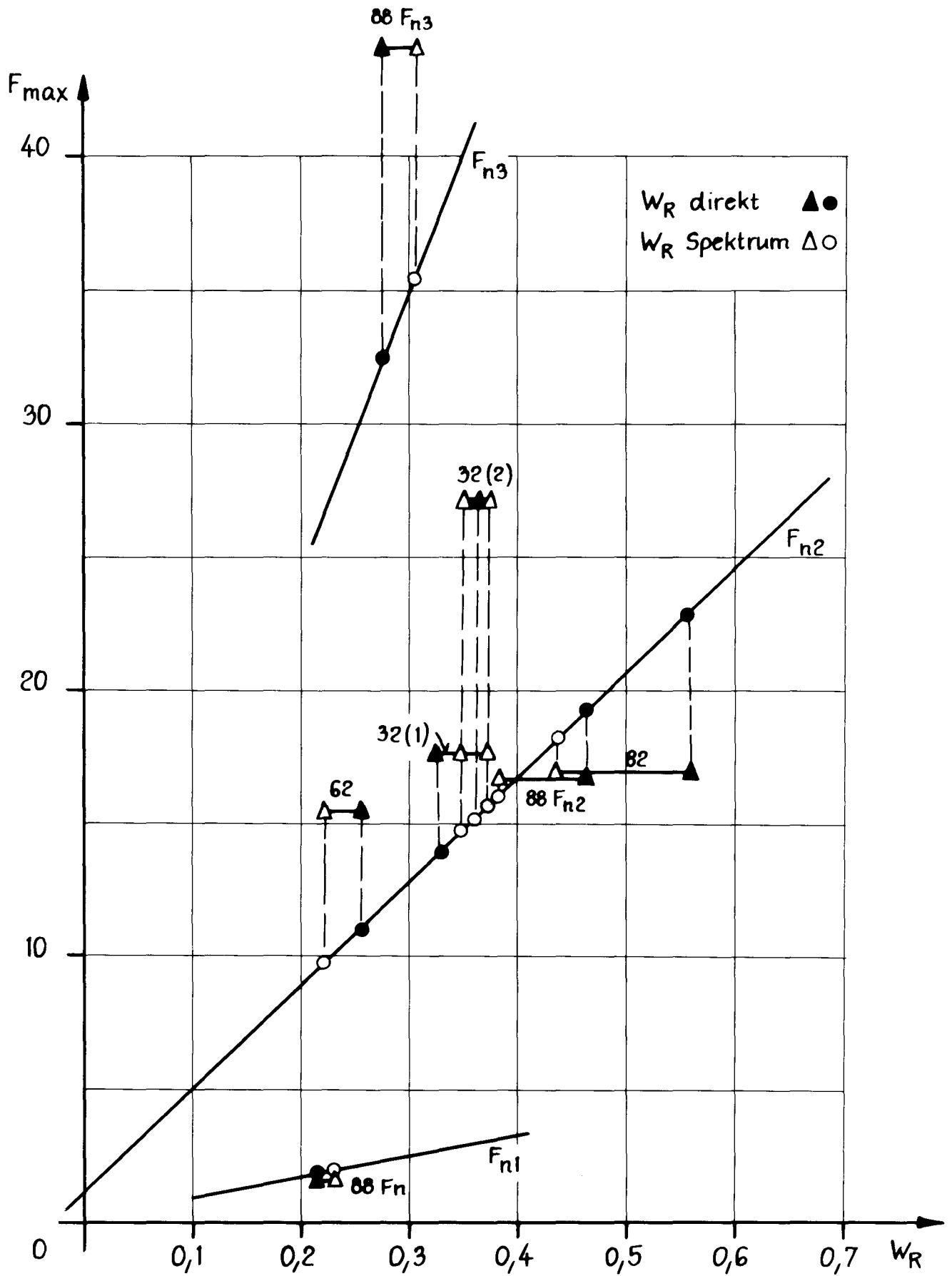
Mittelwert der Kraftamplitude F_2 als Funktion der mittleren Höhe der Wasseroberfläche über Deck \bar{S}_1

Abb. 16



Maximalwert der Kraft durch Wasserschlag F_{max} als Funktion der Wahrscheinlichkeit W_R , daß die Wellenamplitude Seite Deck überschreitet.

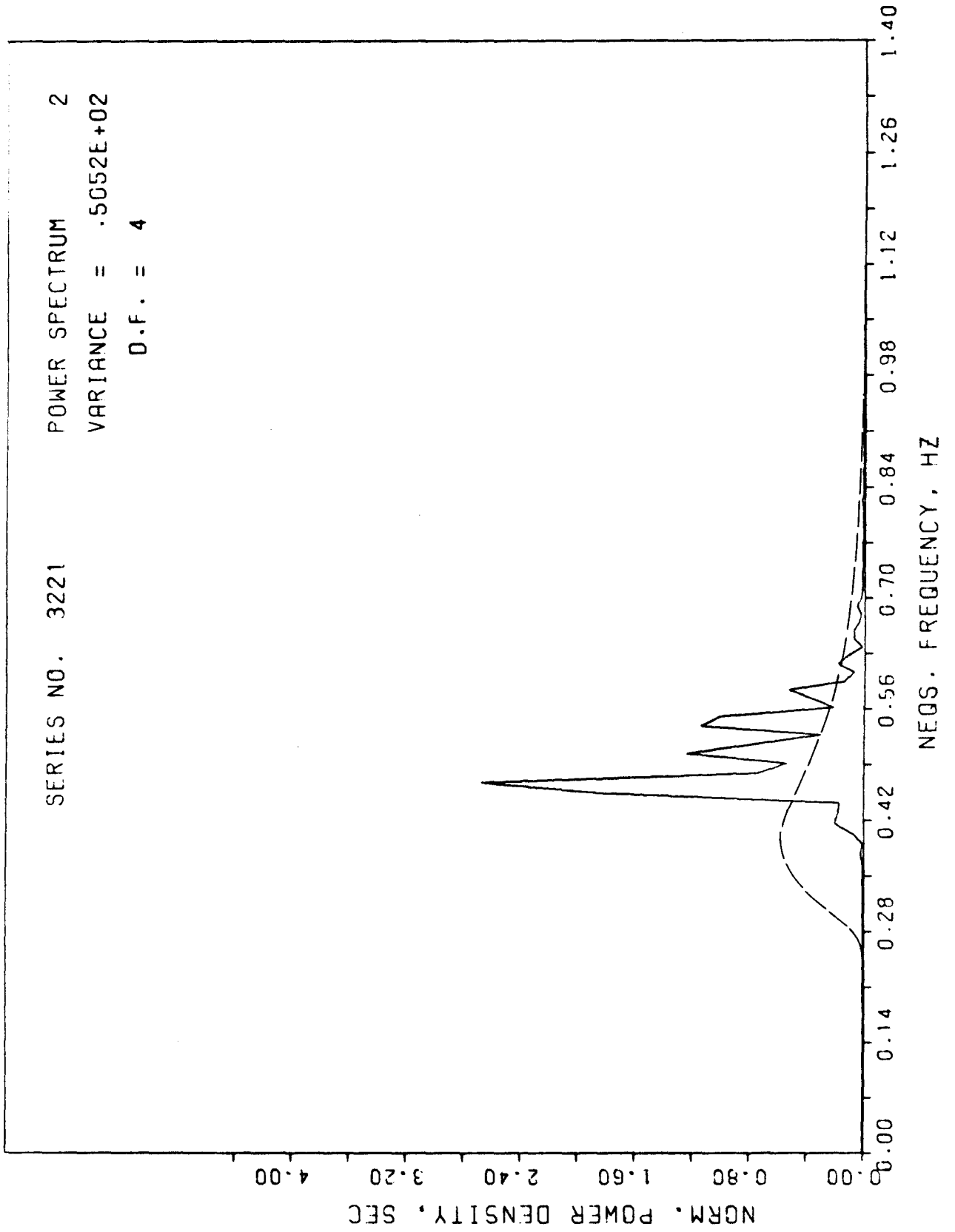
Abb. 17

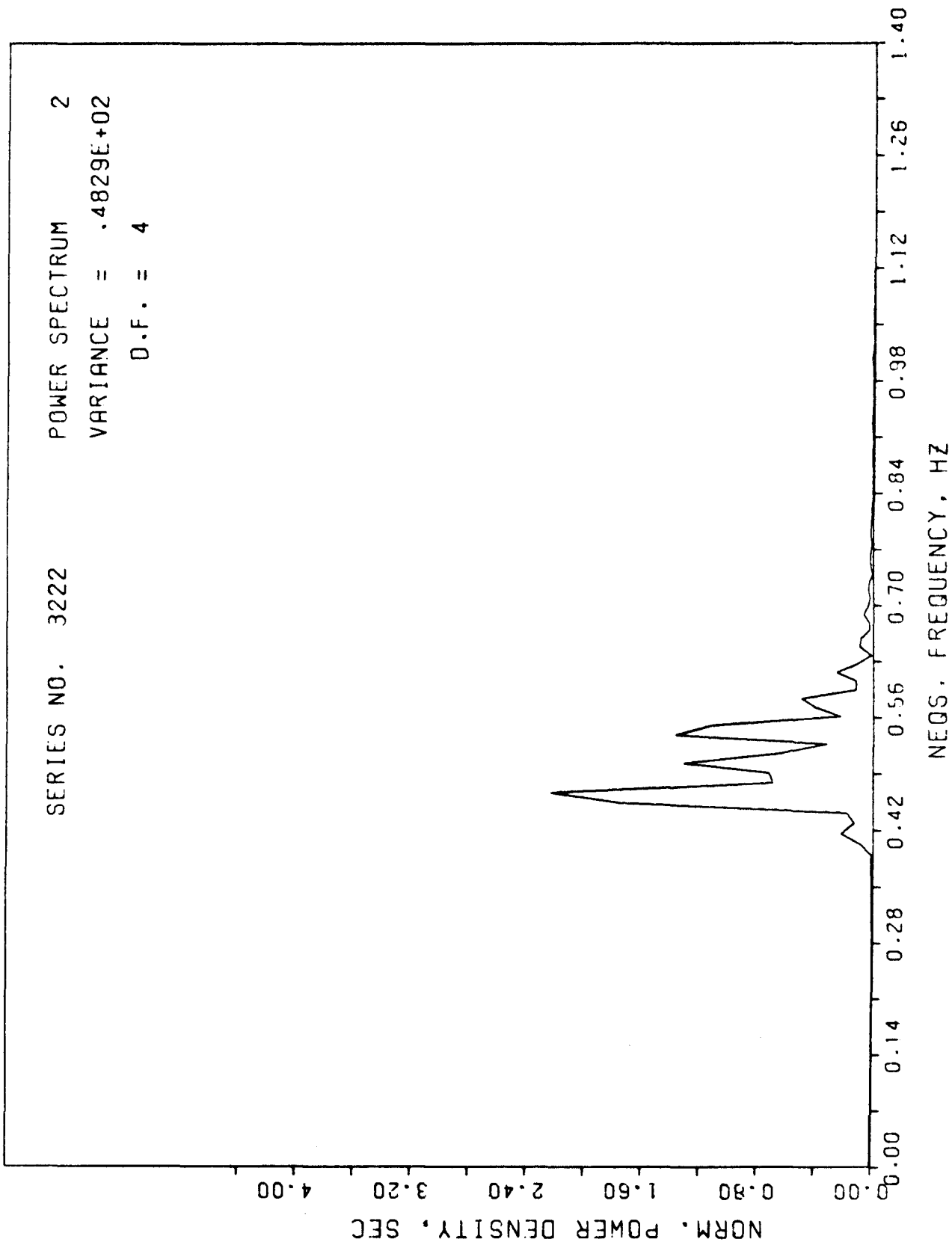


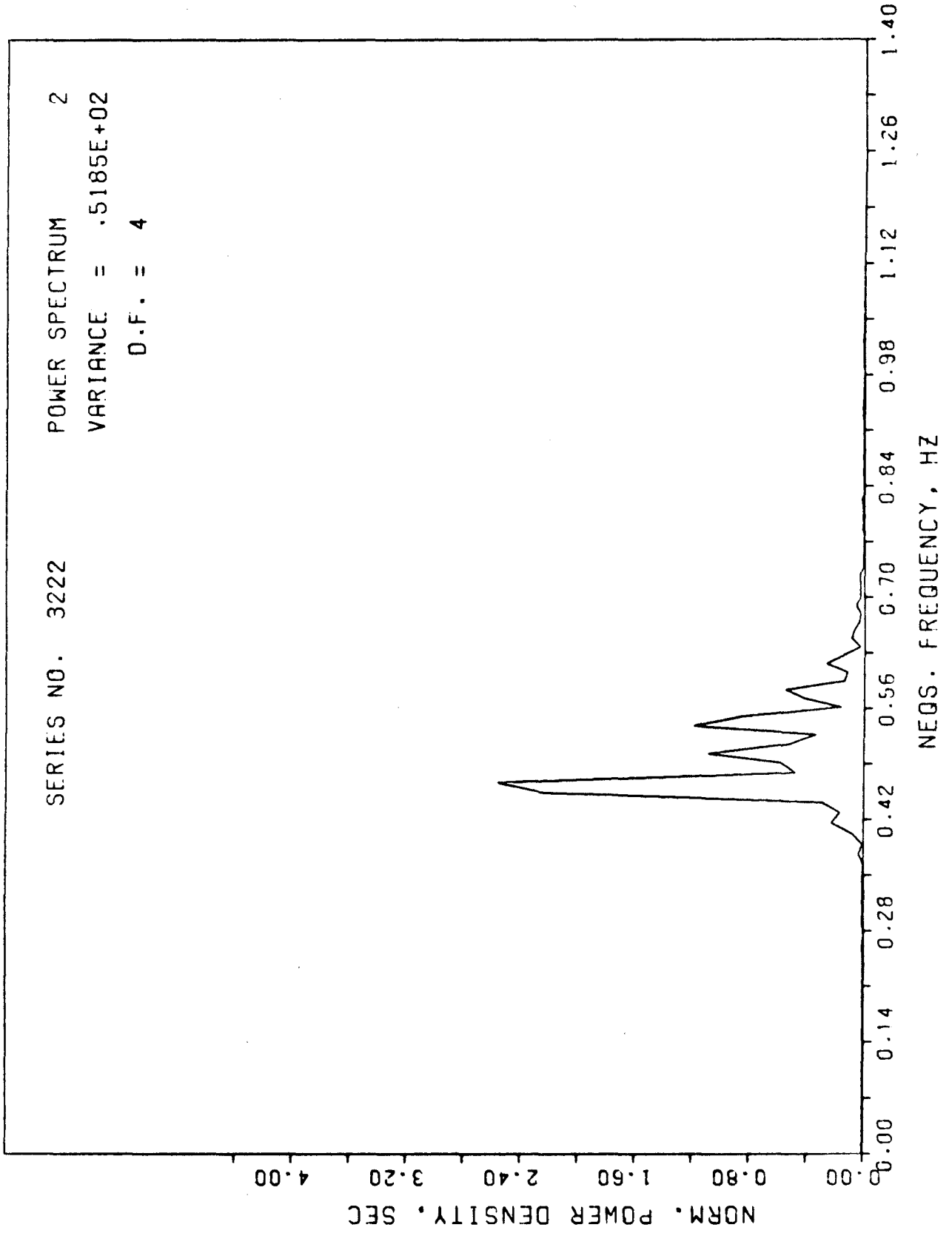
Maximalwert der Kraft F_{max} bei verschiedenen Froudeschen Zahlen

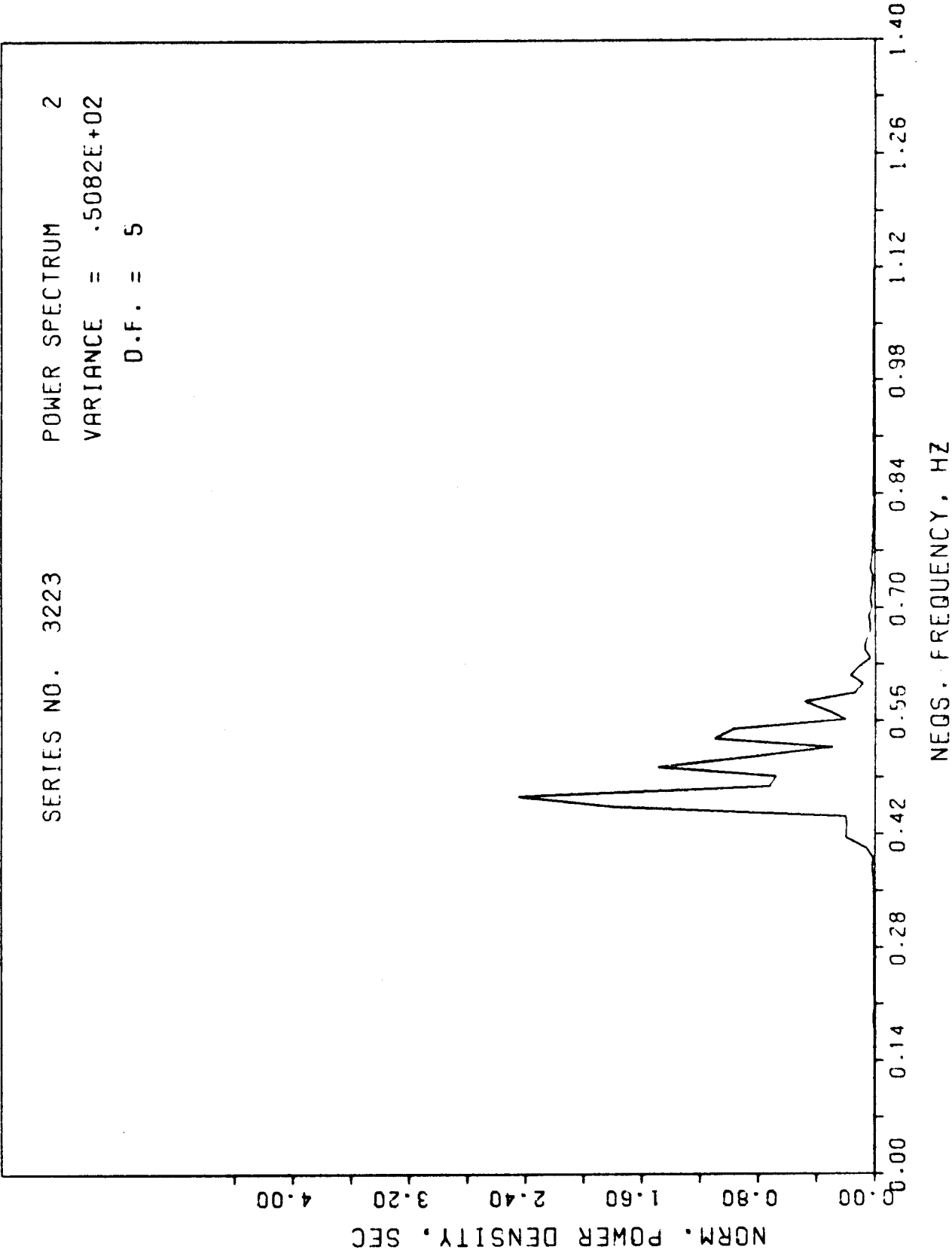
ANHANG I

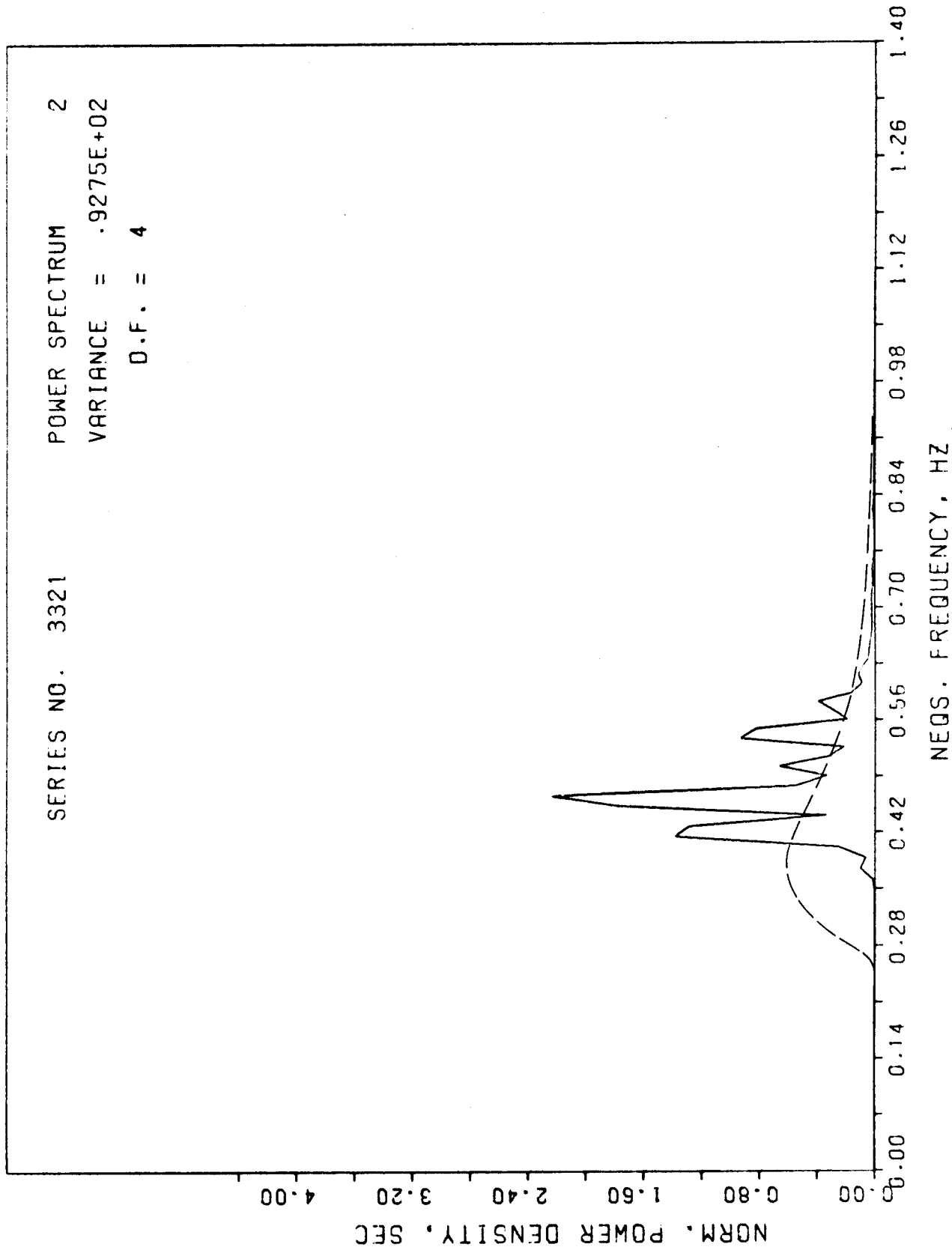
Spektren der Modellseegänge

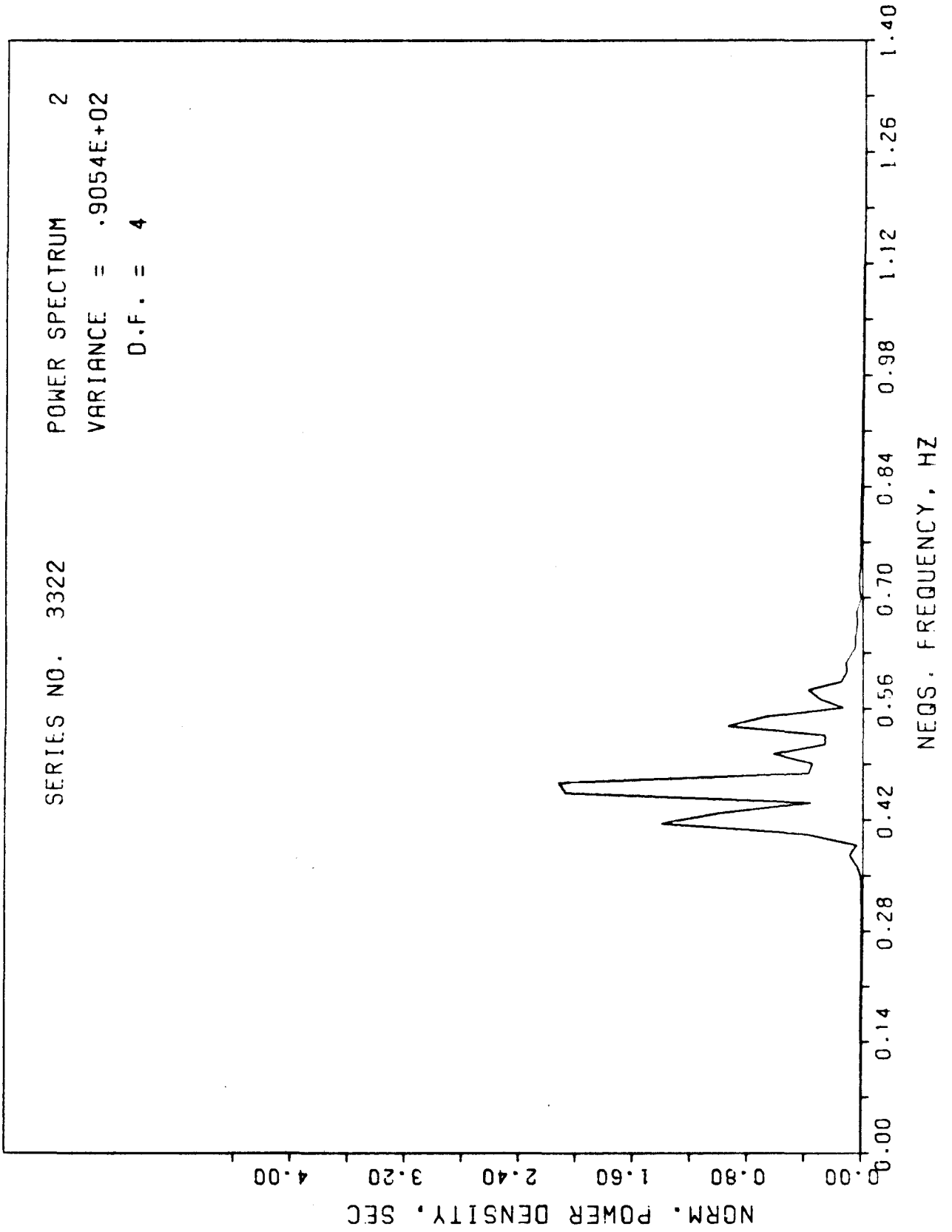


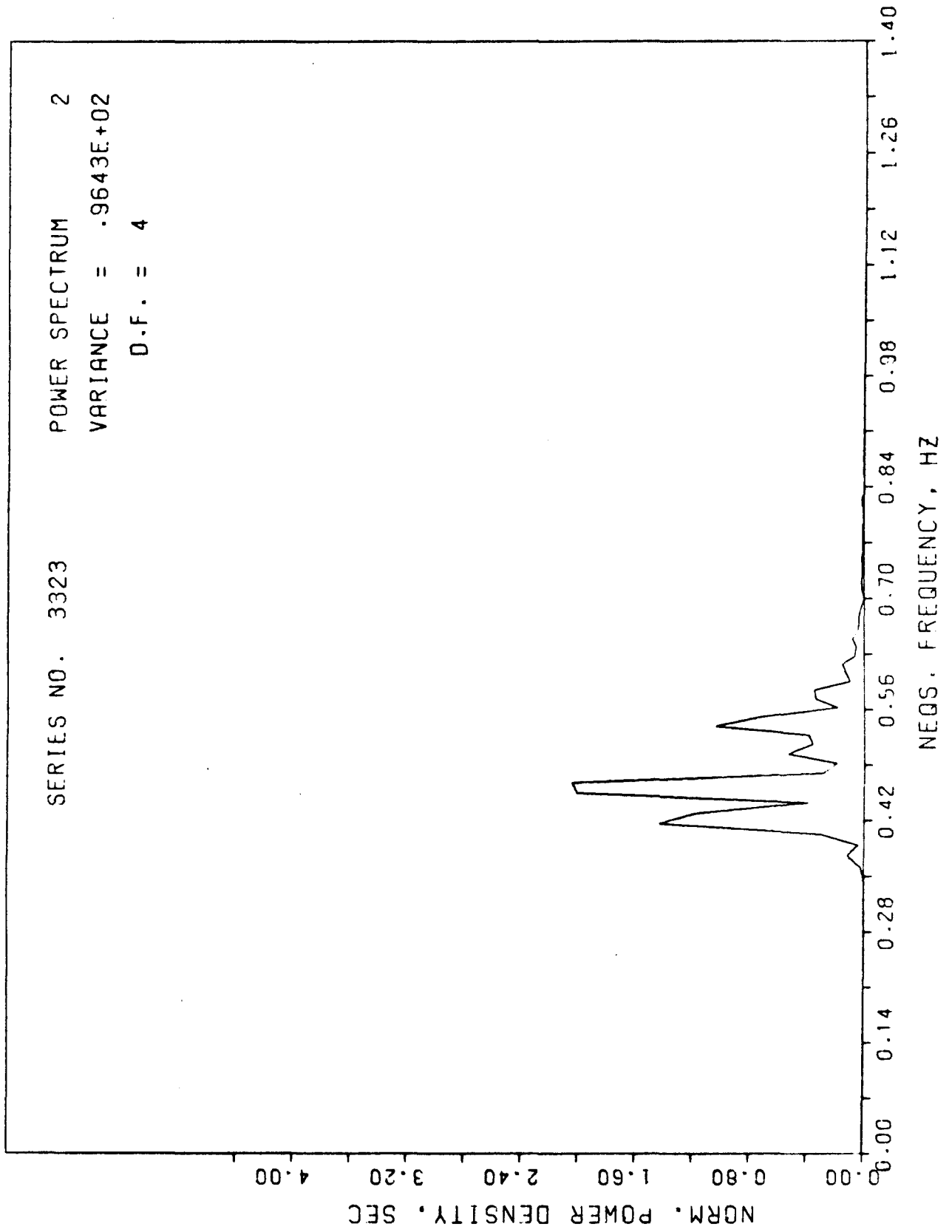


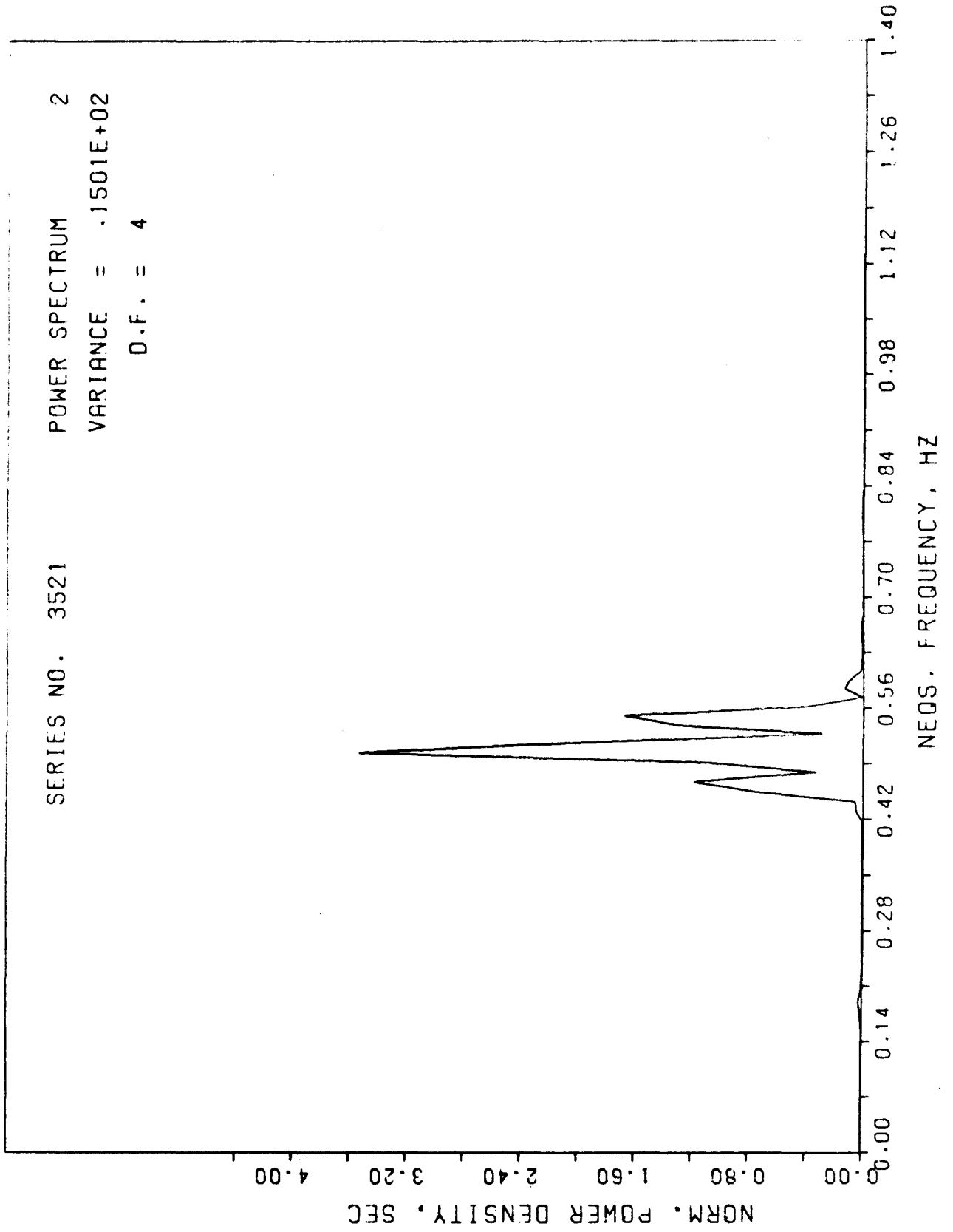


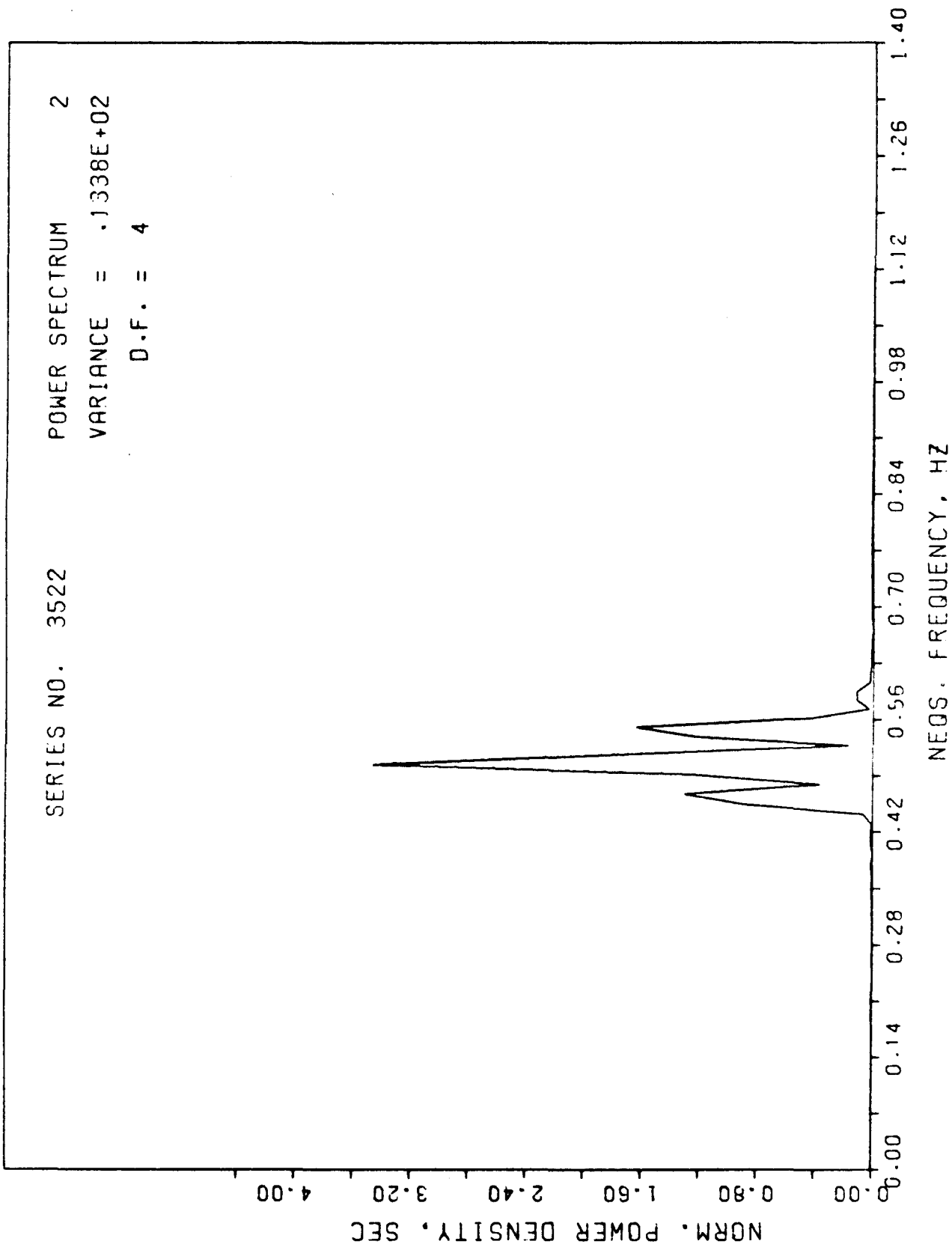


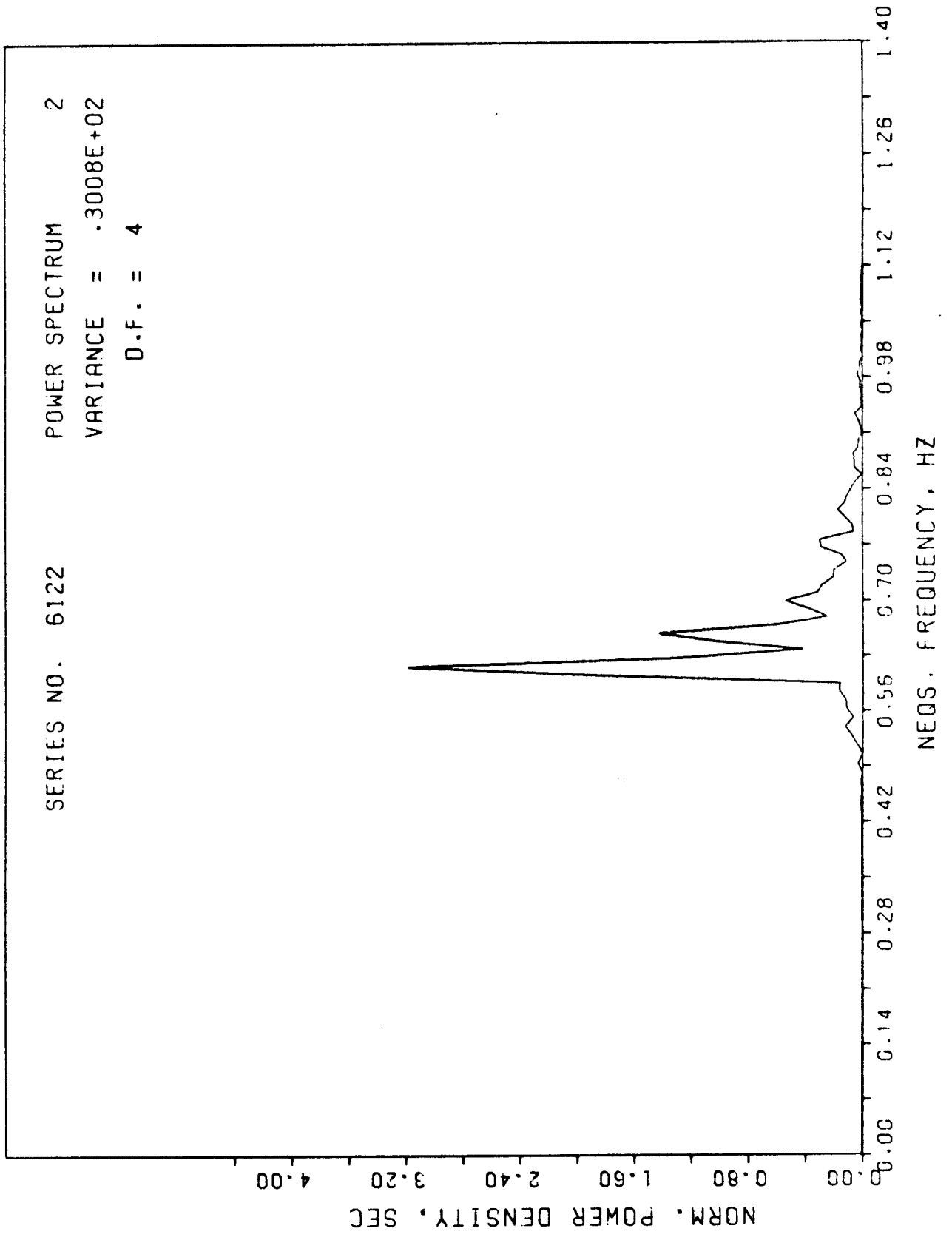


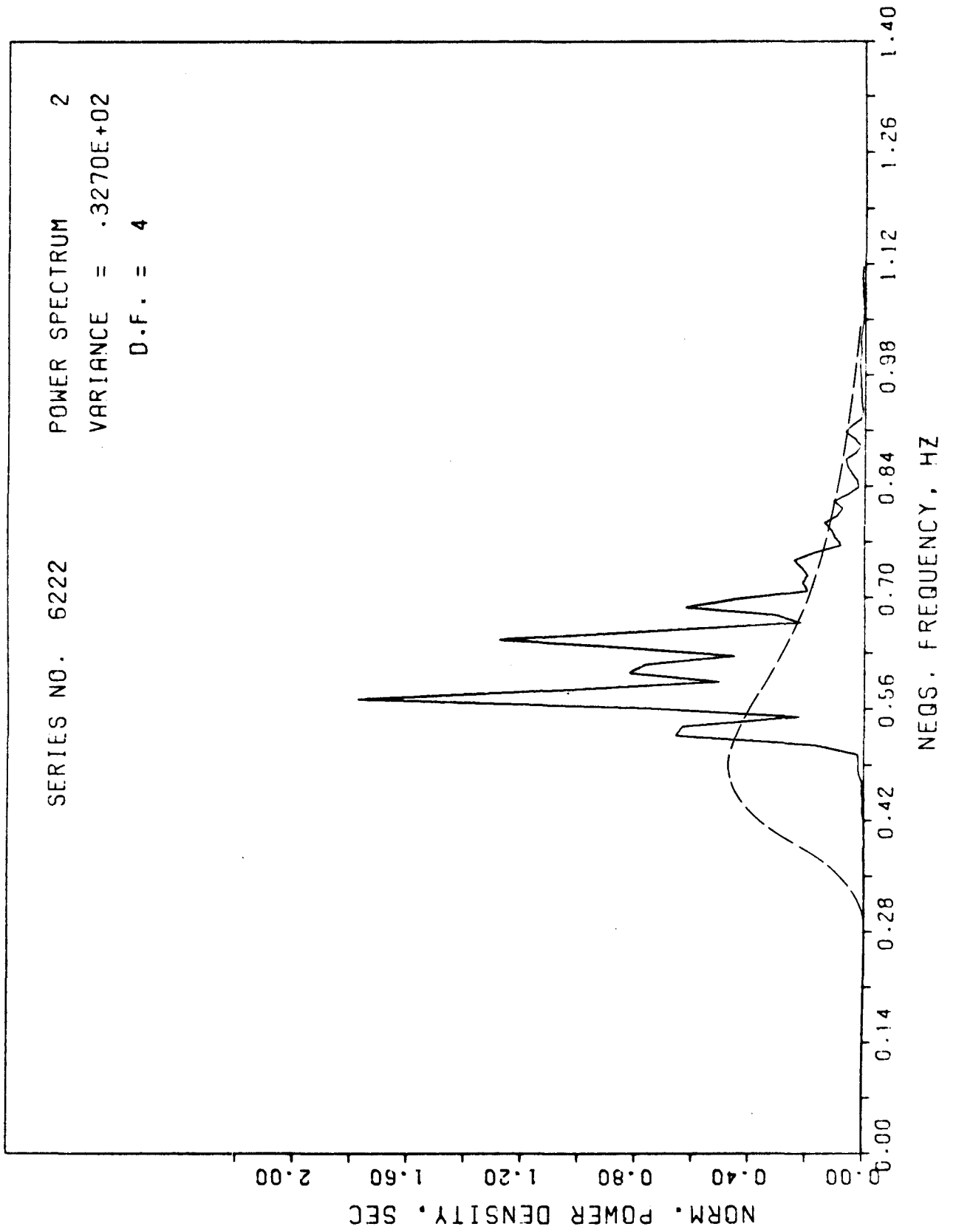


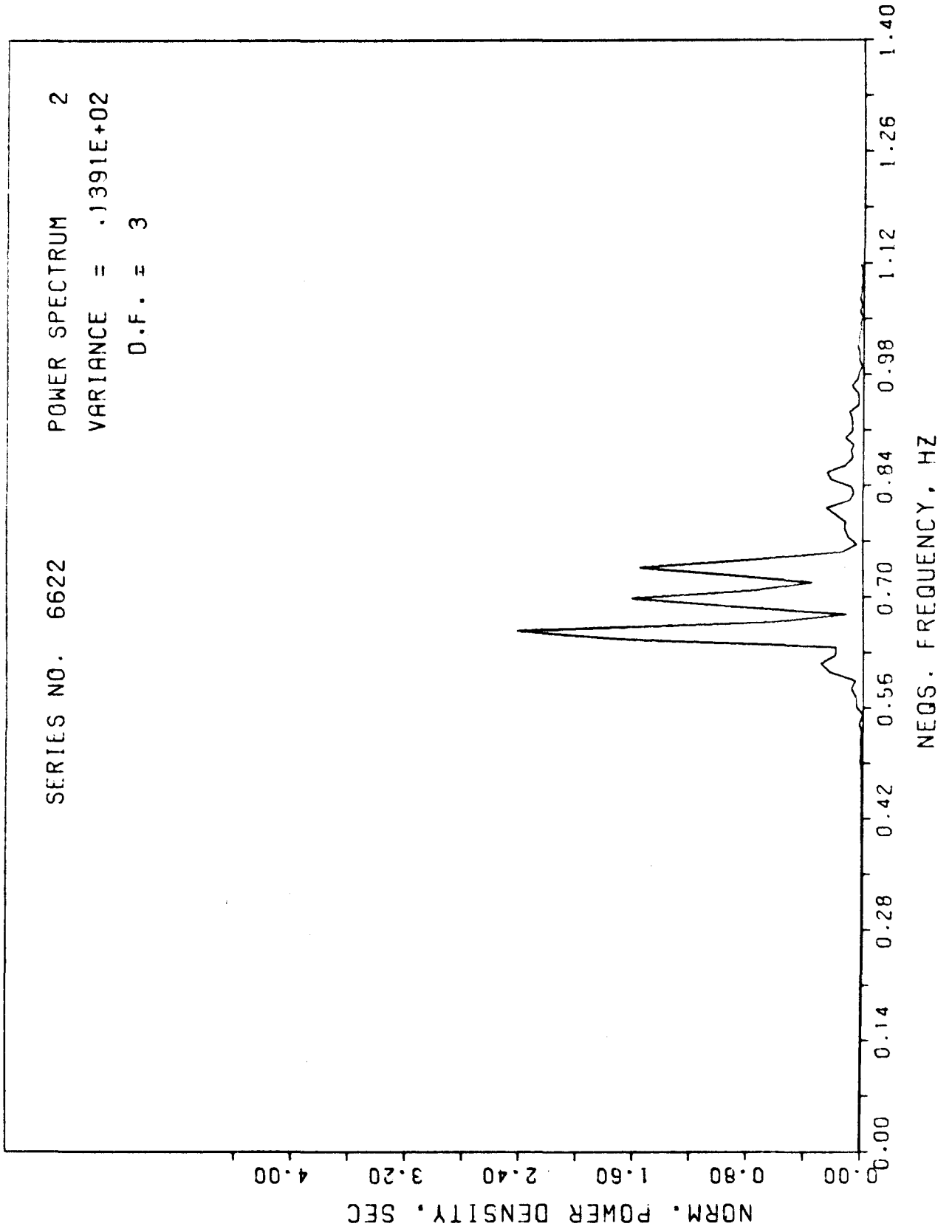


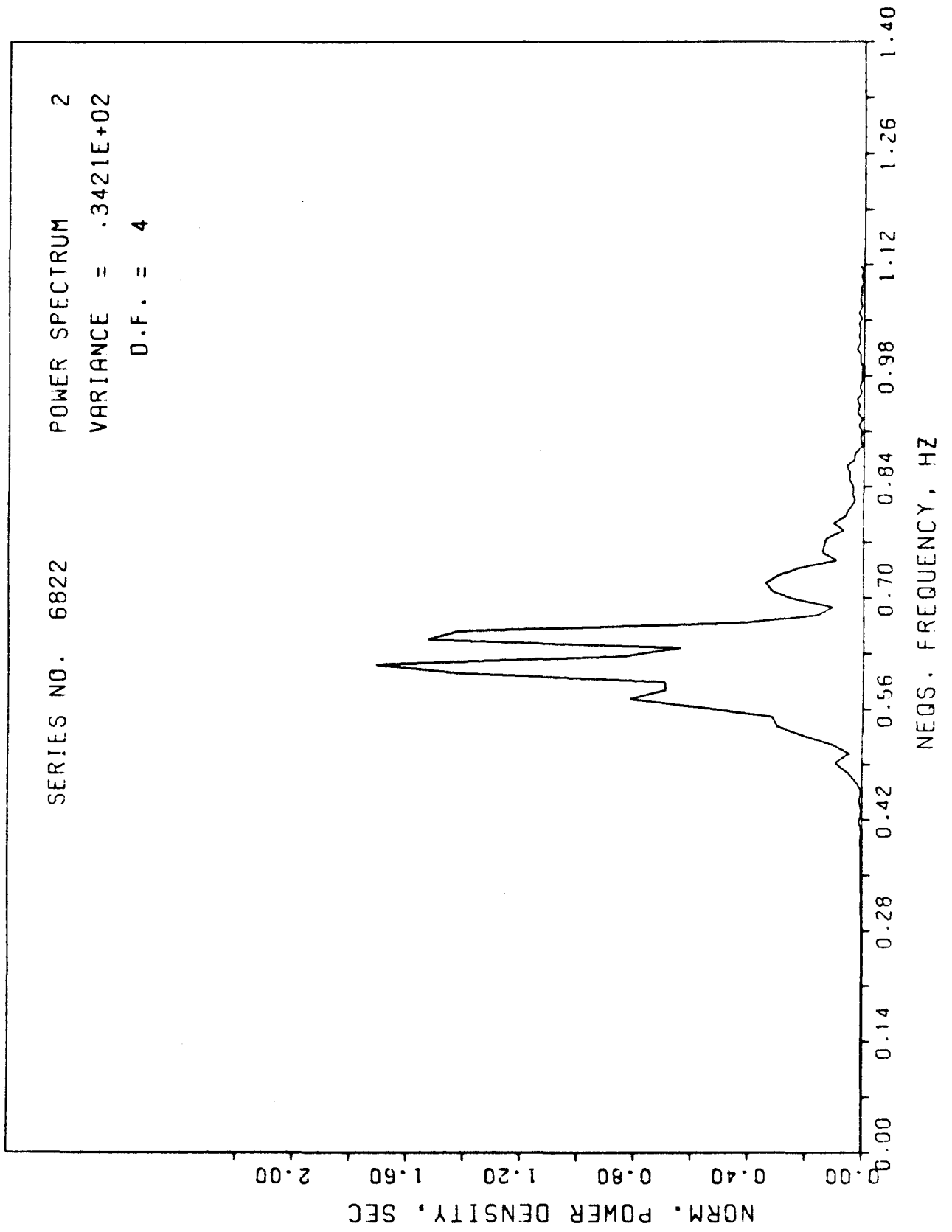


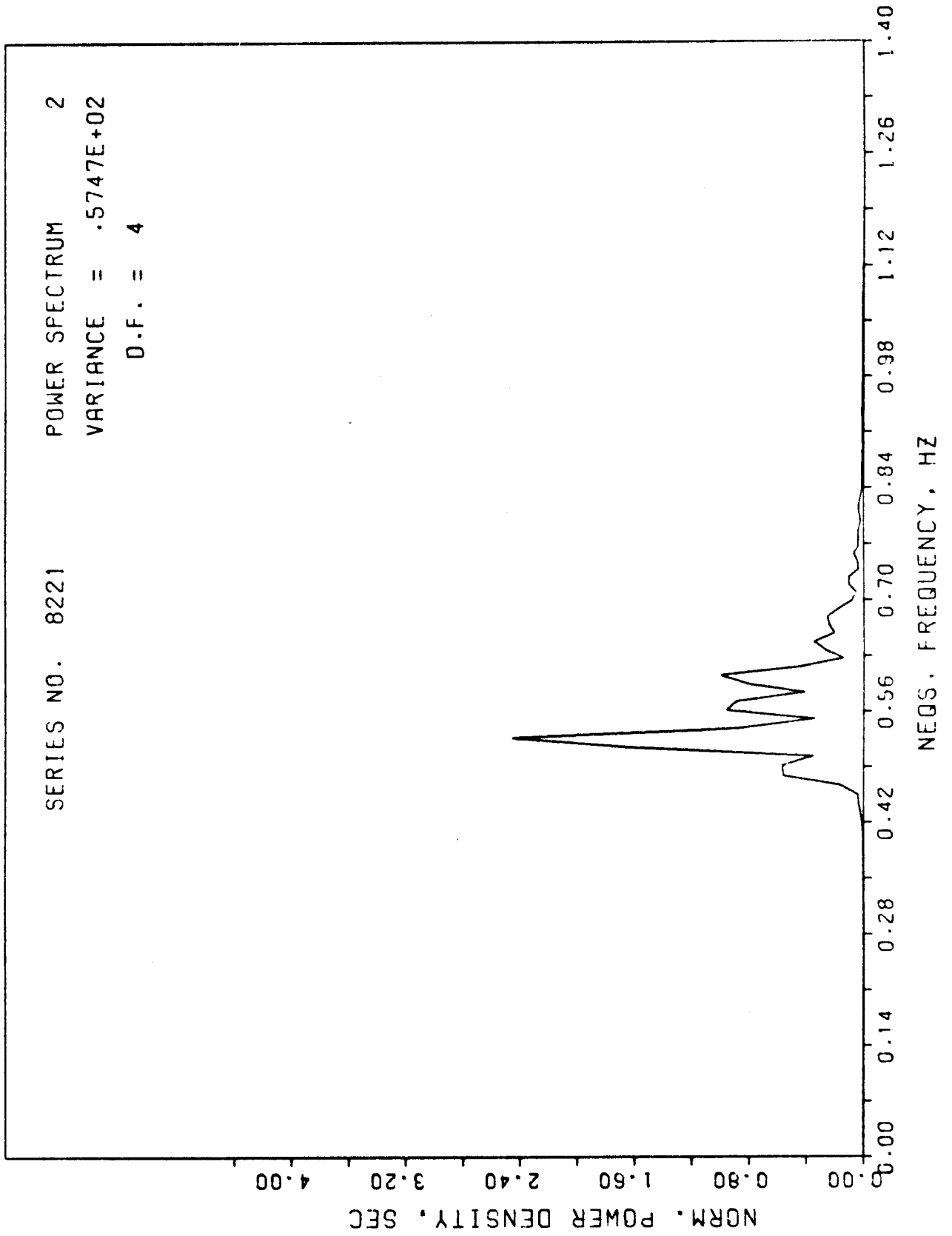


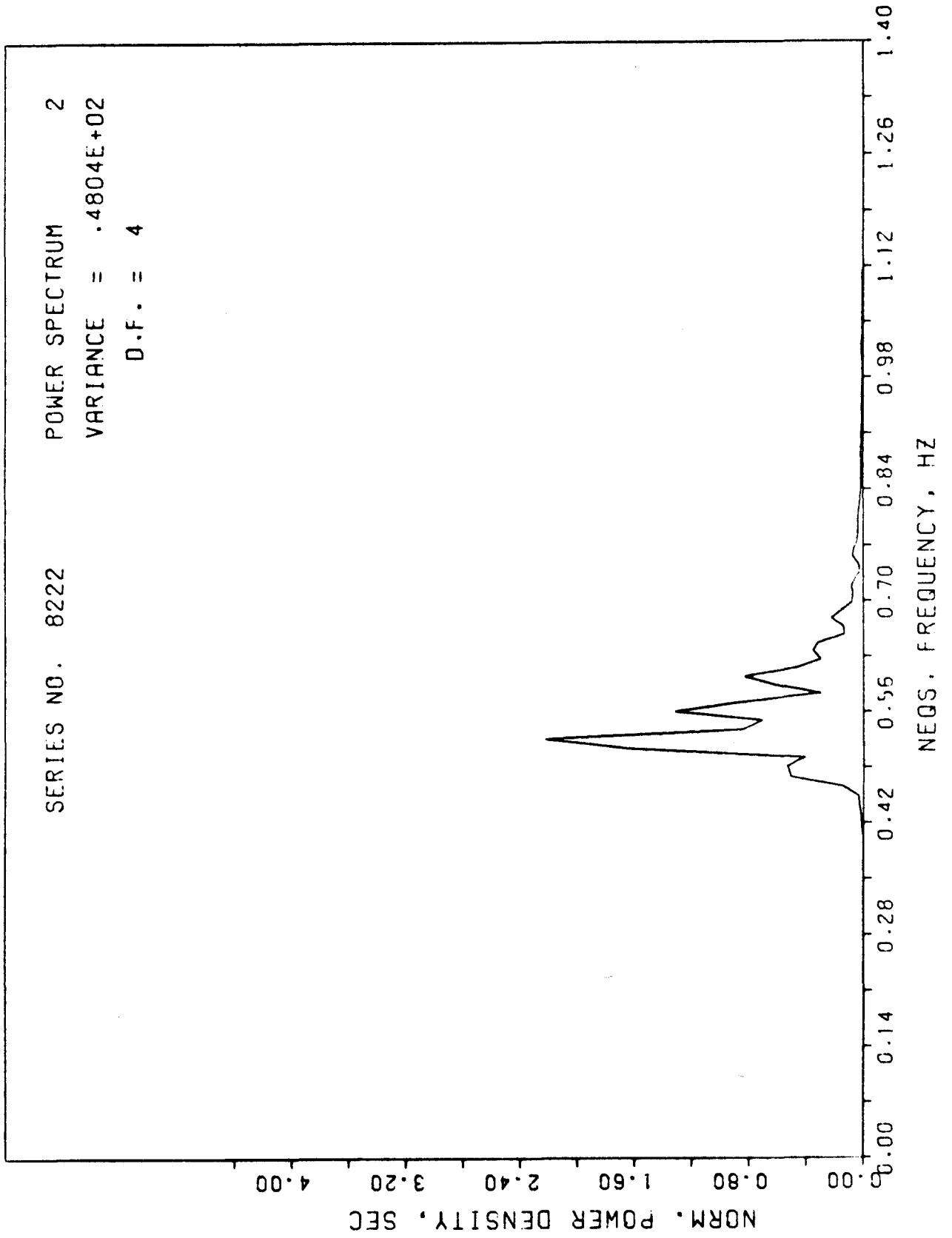


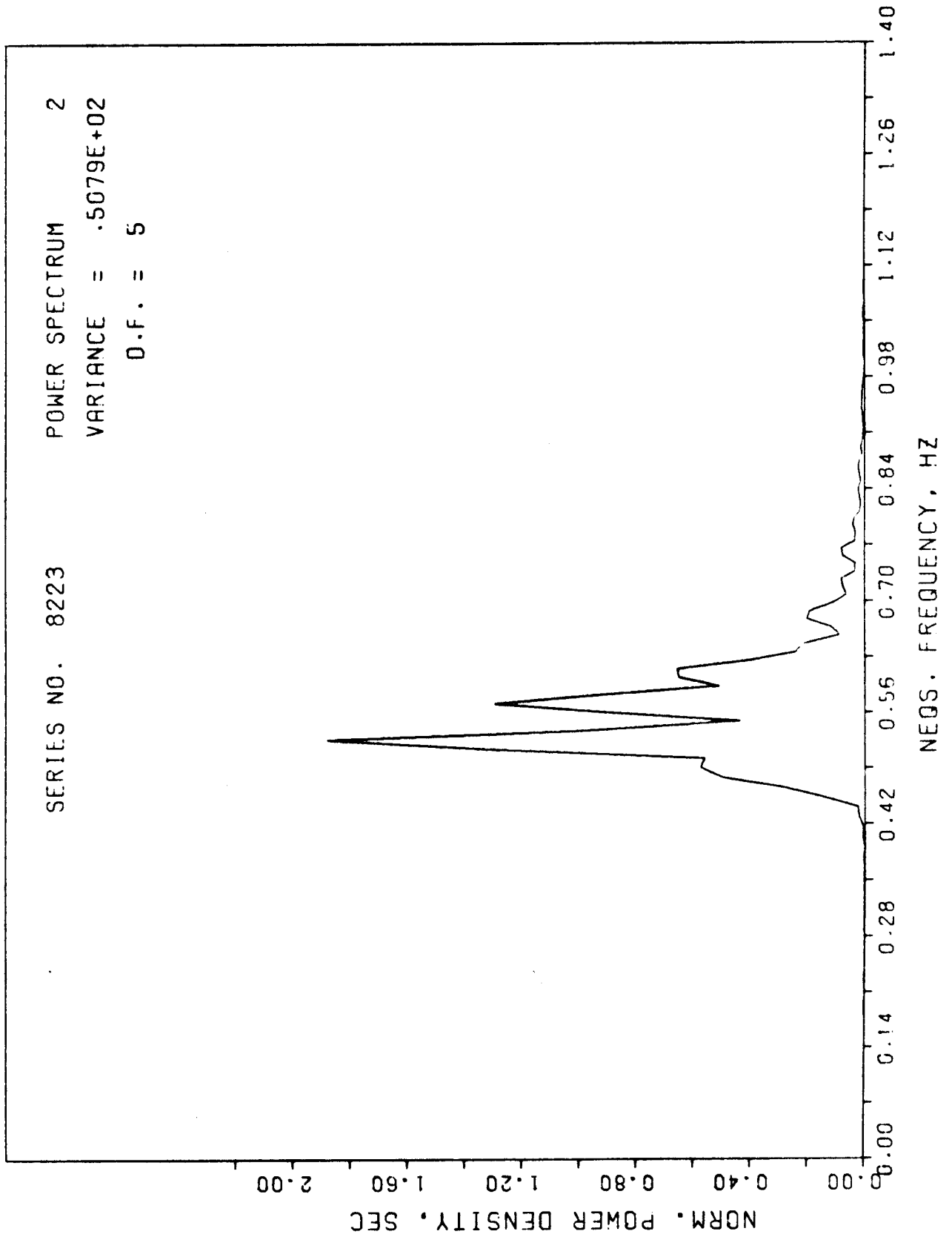


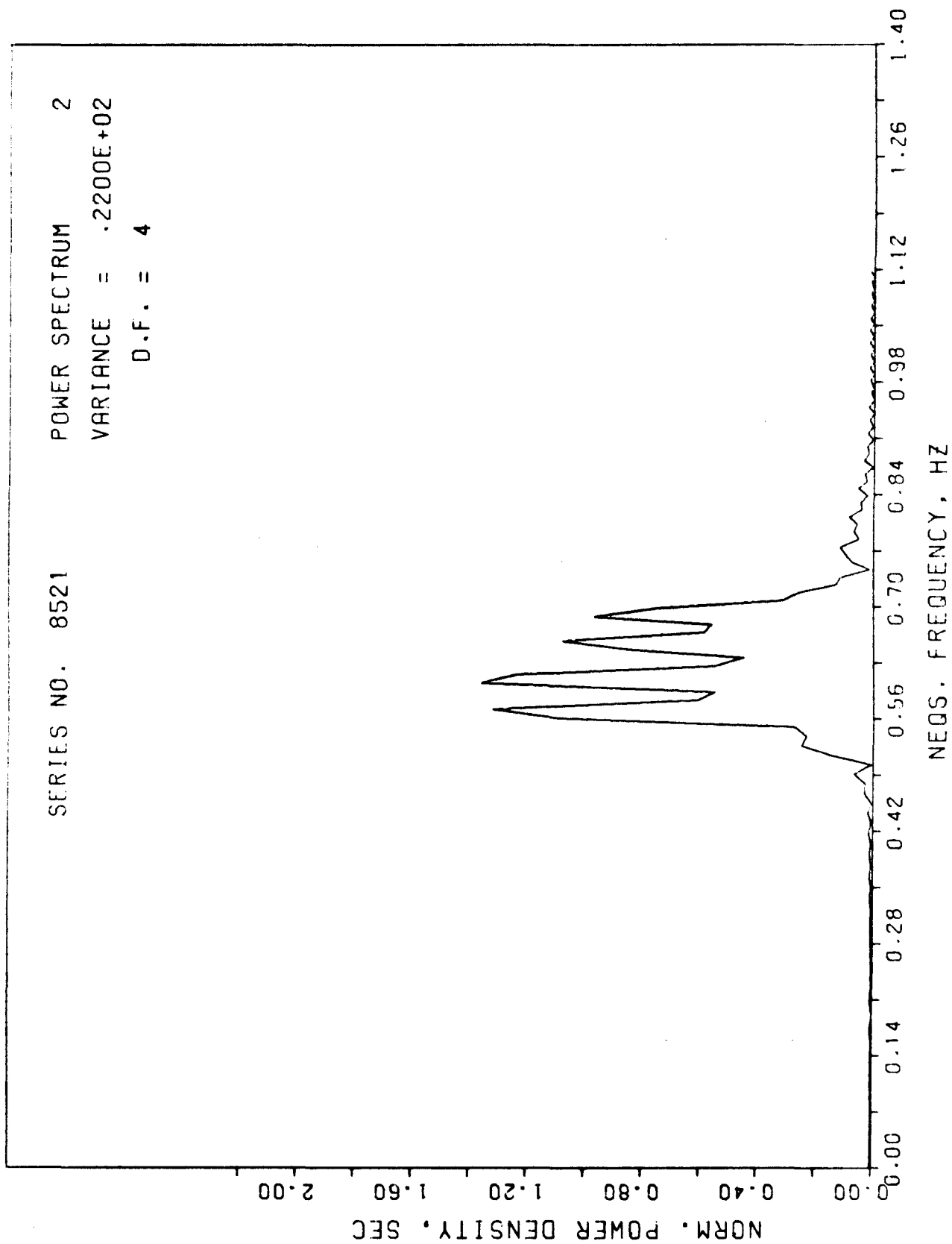


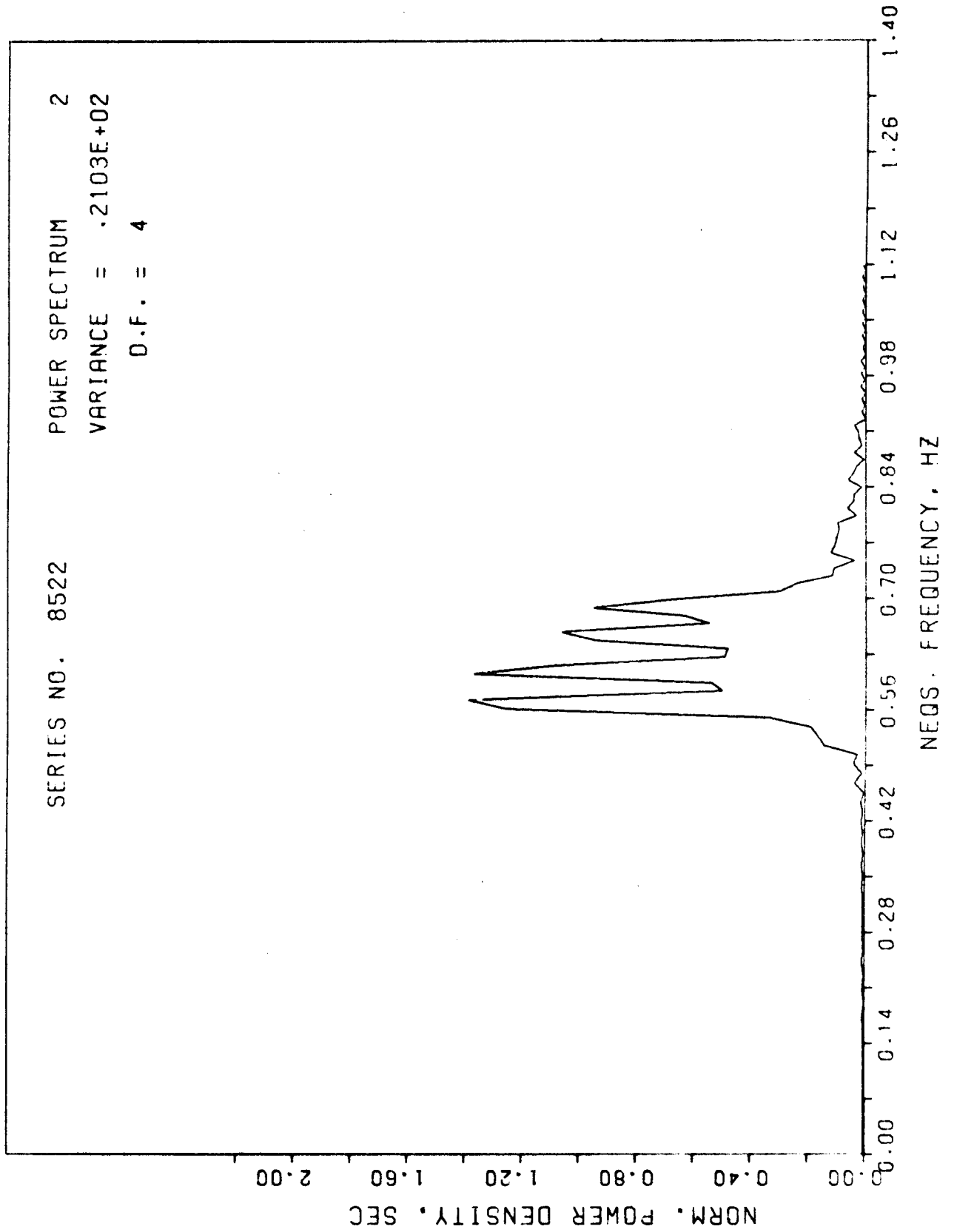


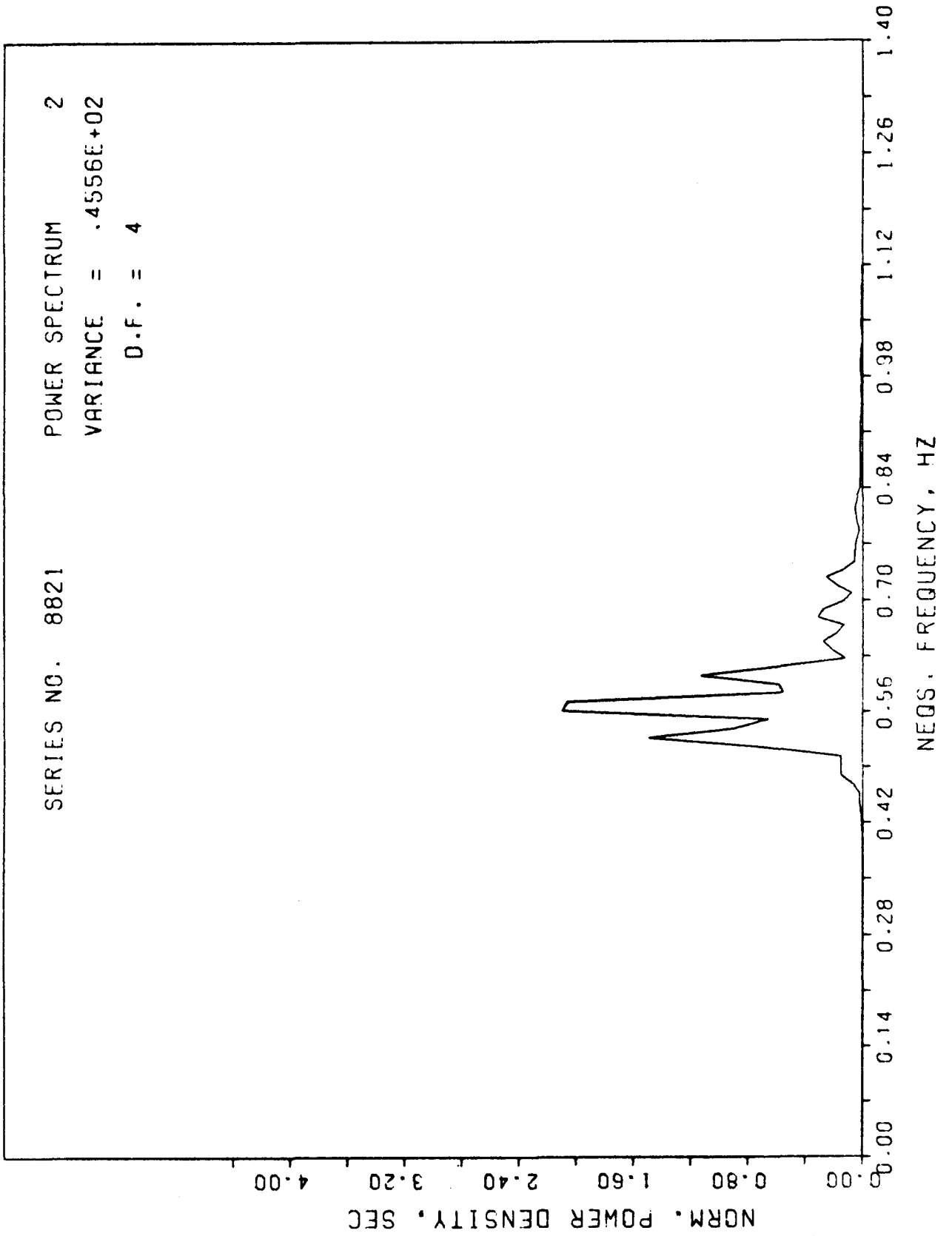


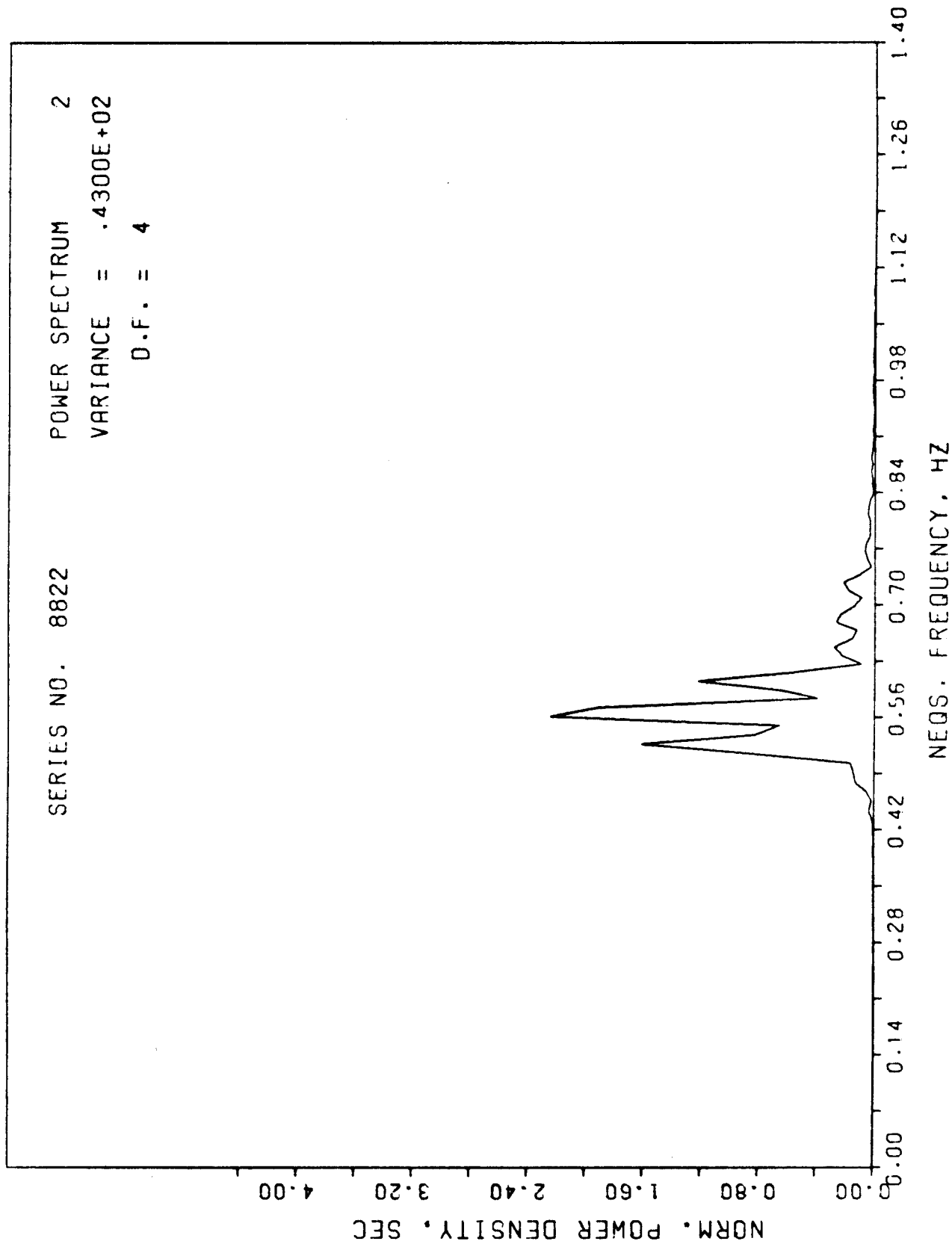


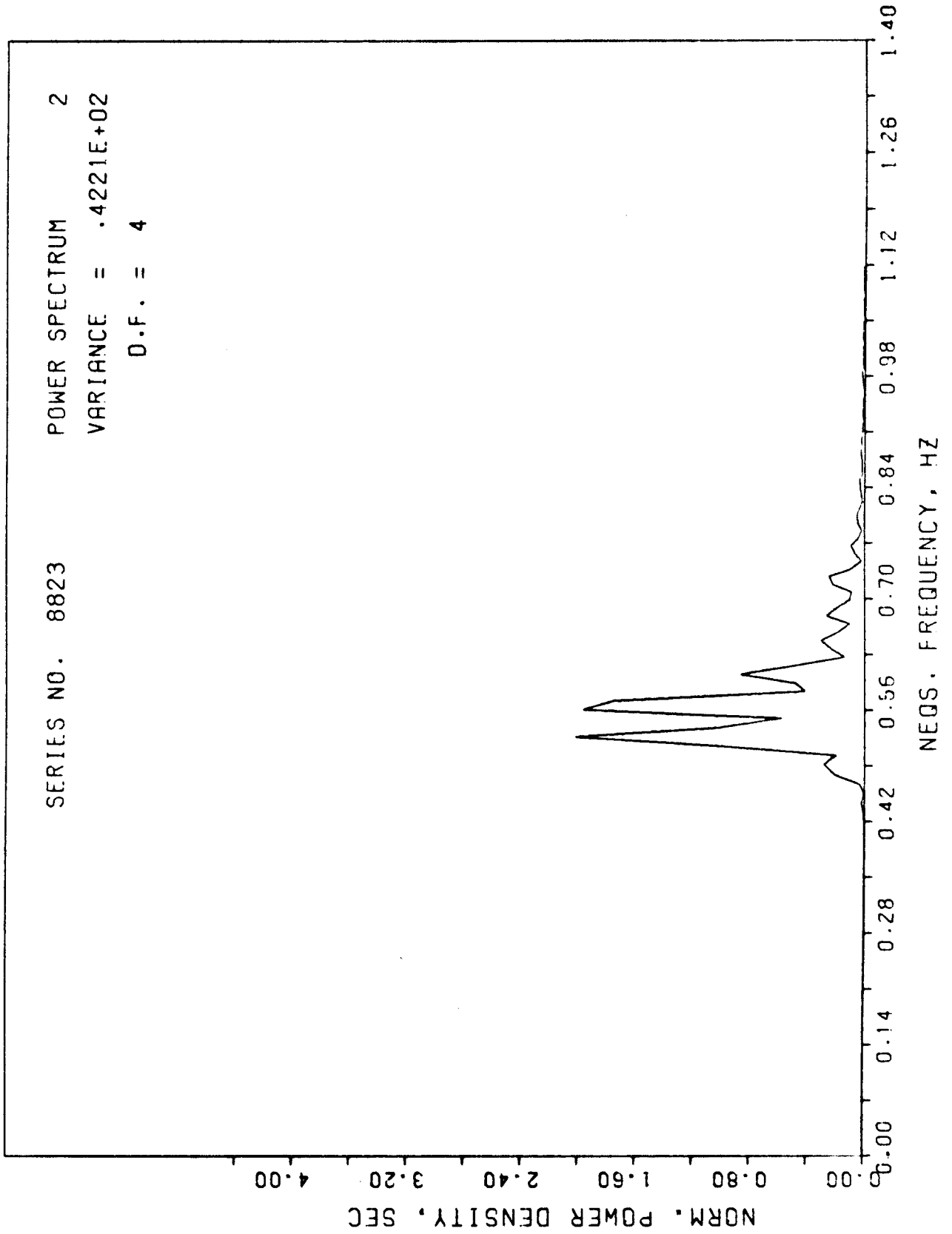


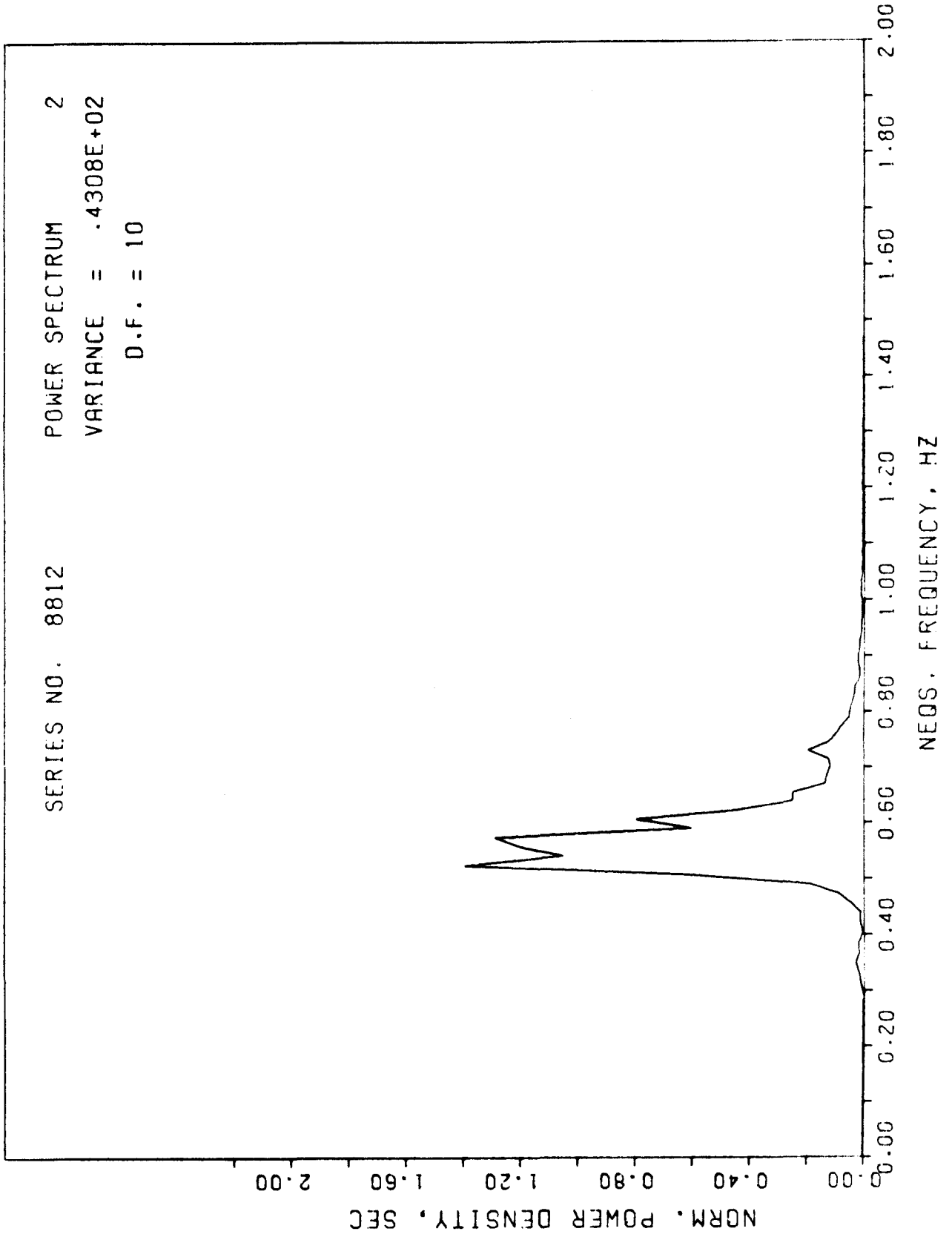


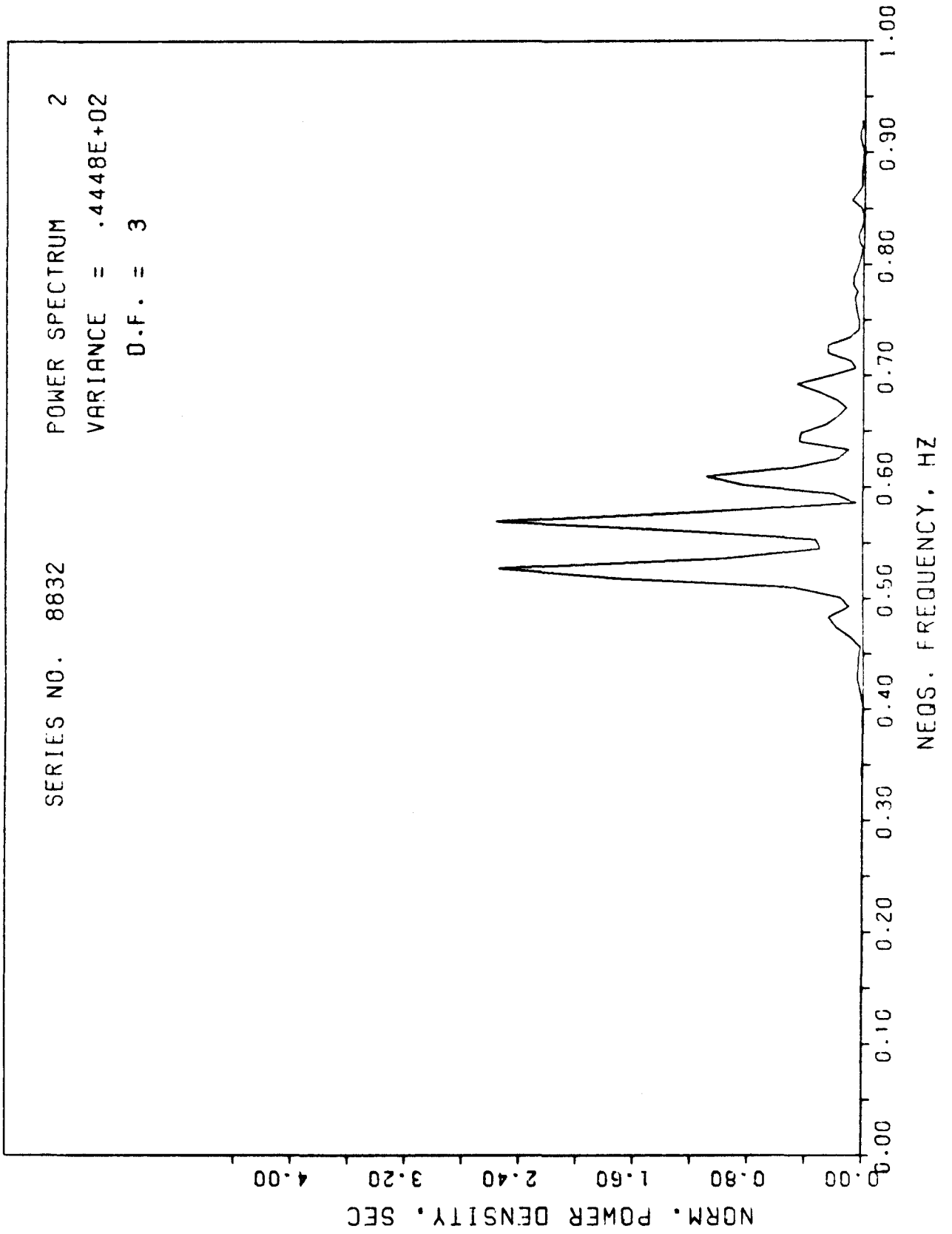






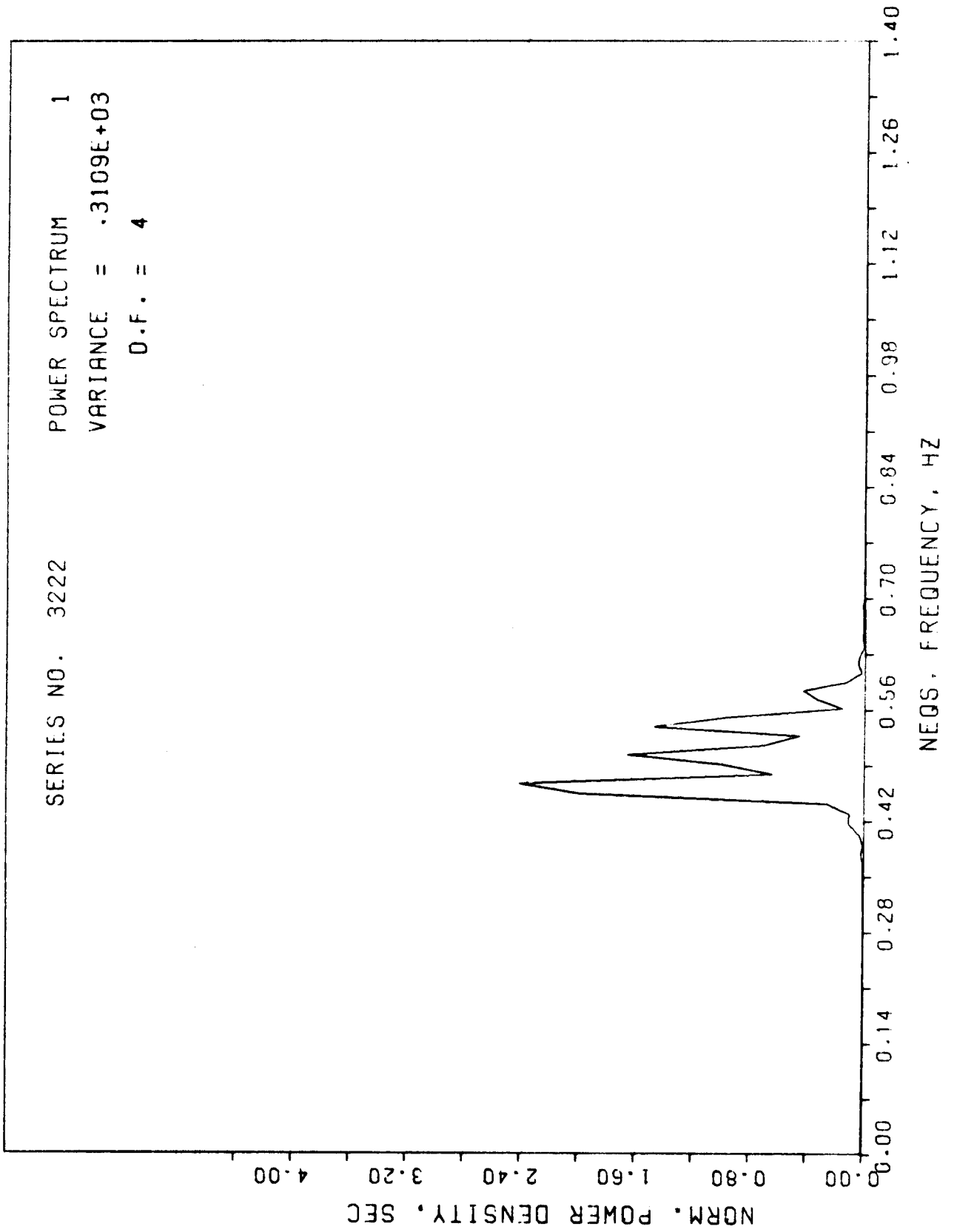


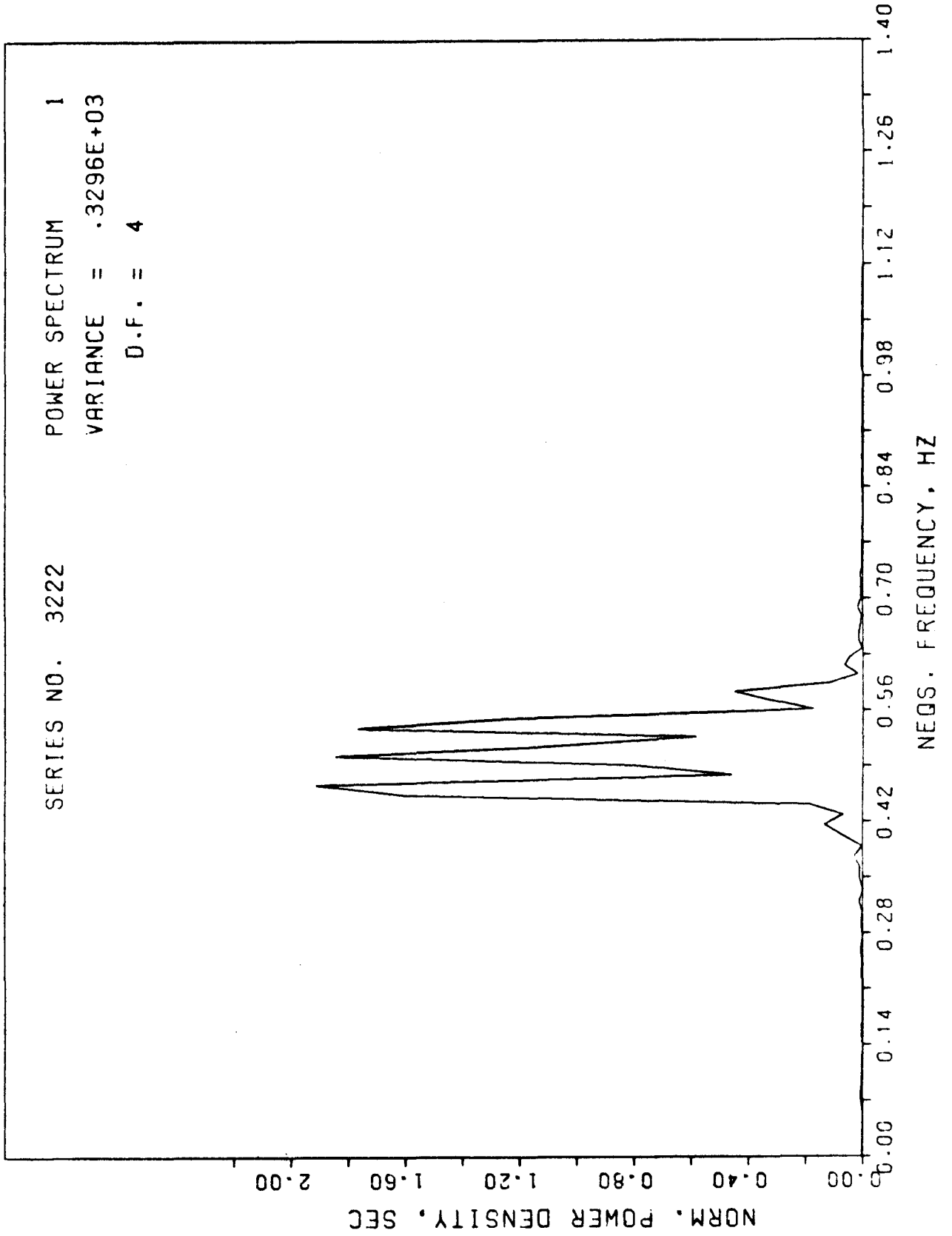


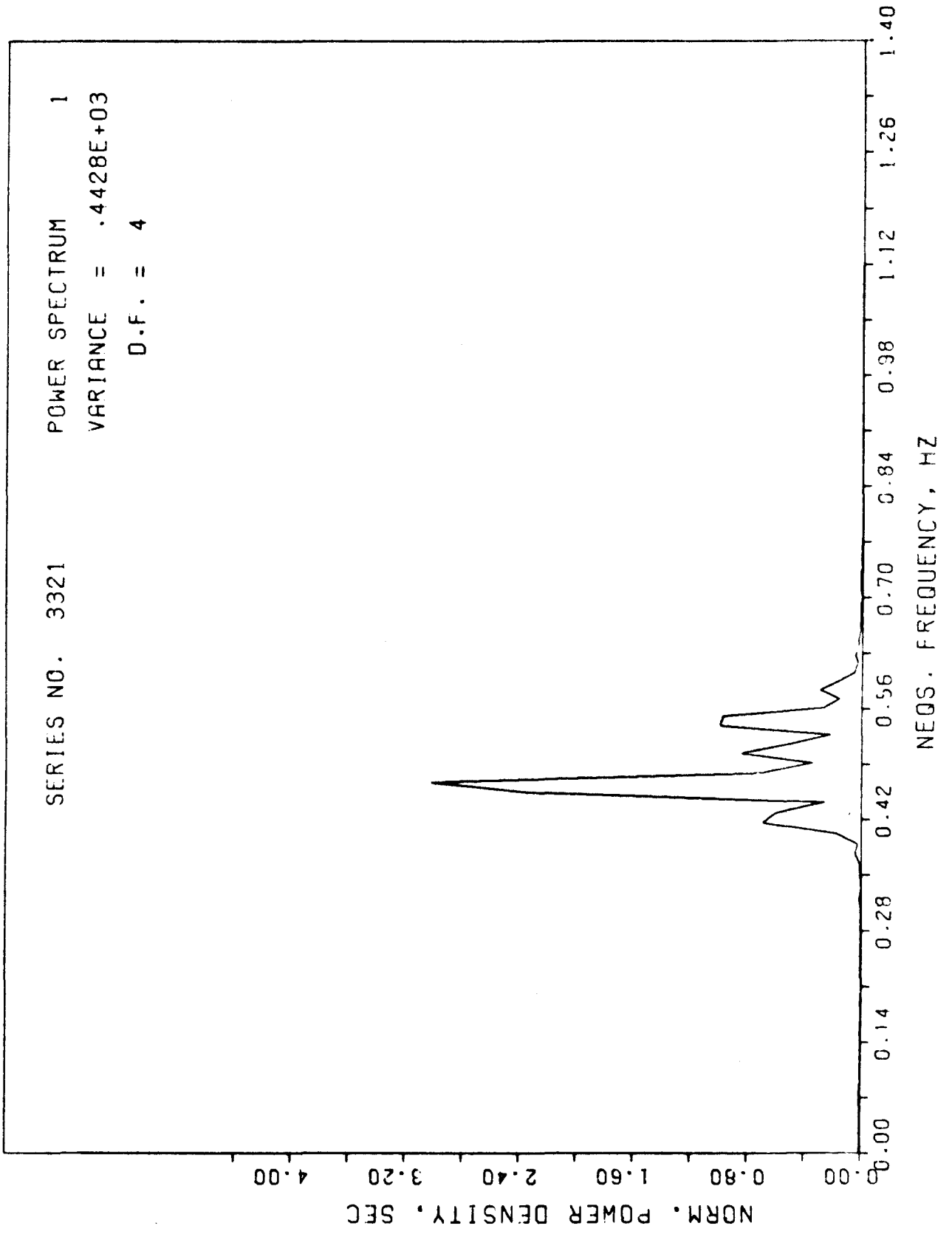


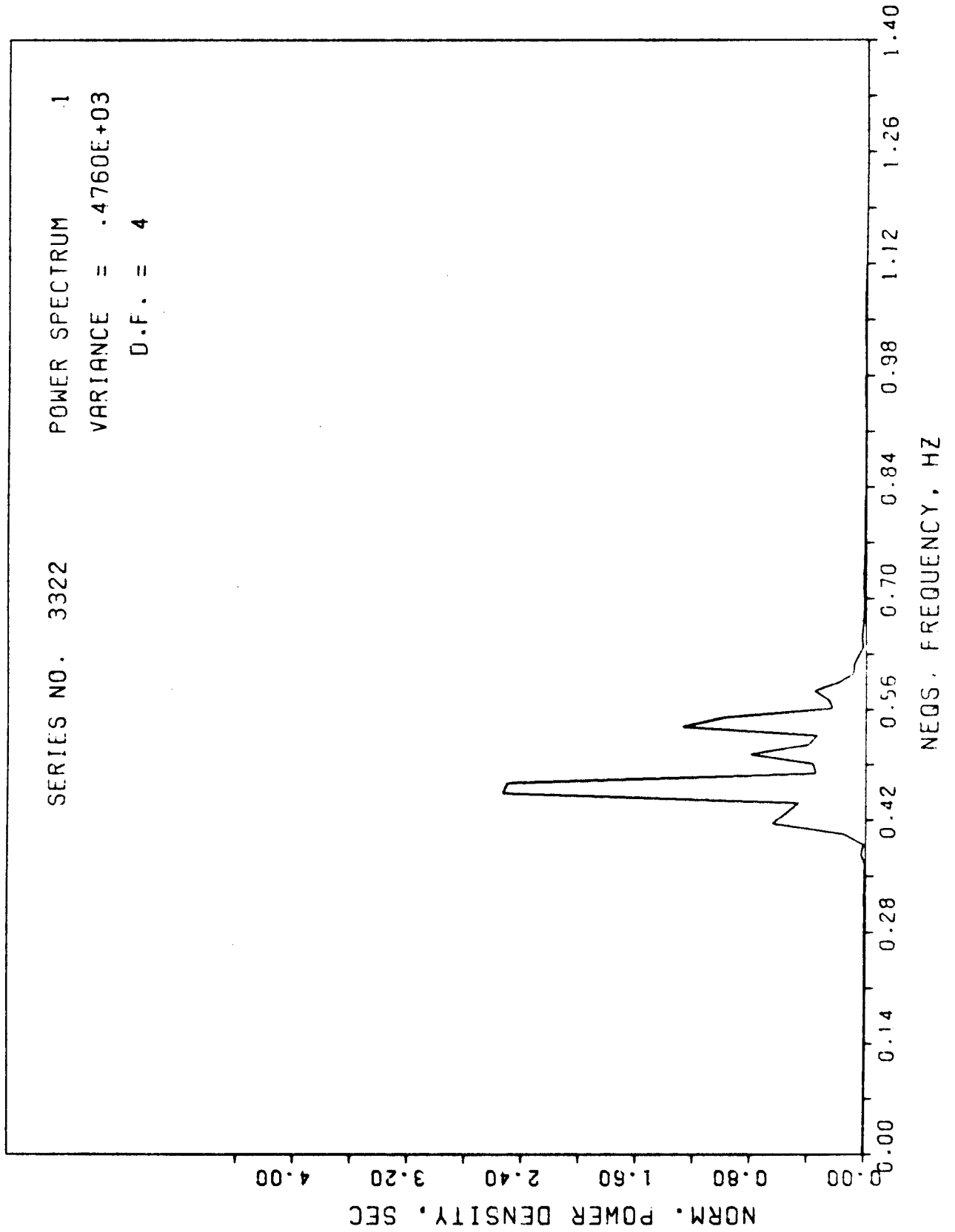
ANHANG 2

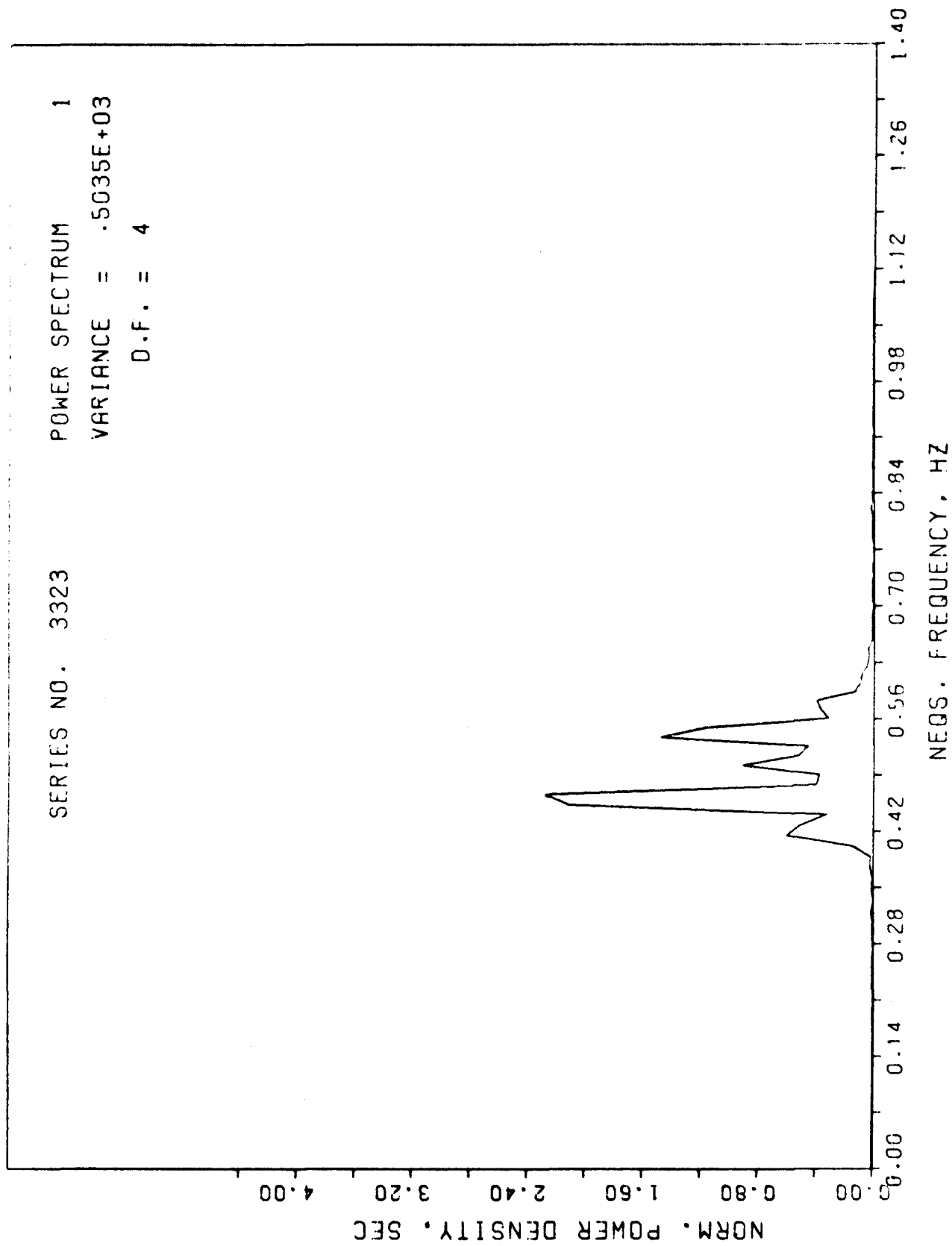
Spektren der Relativbewegung zwischen
Schiff und Wasseroberfläche am vorderen
Lot

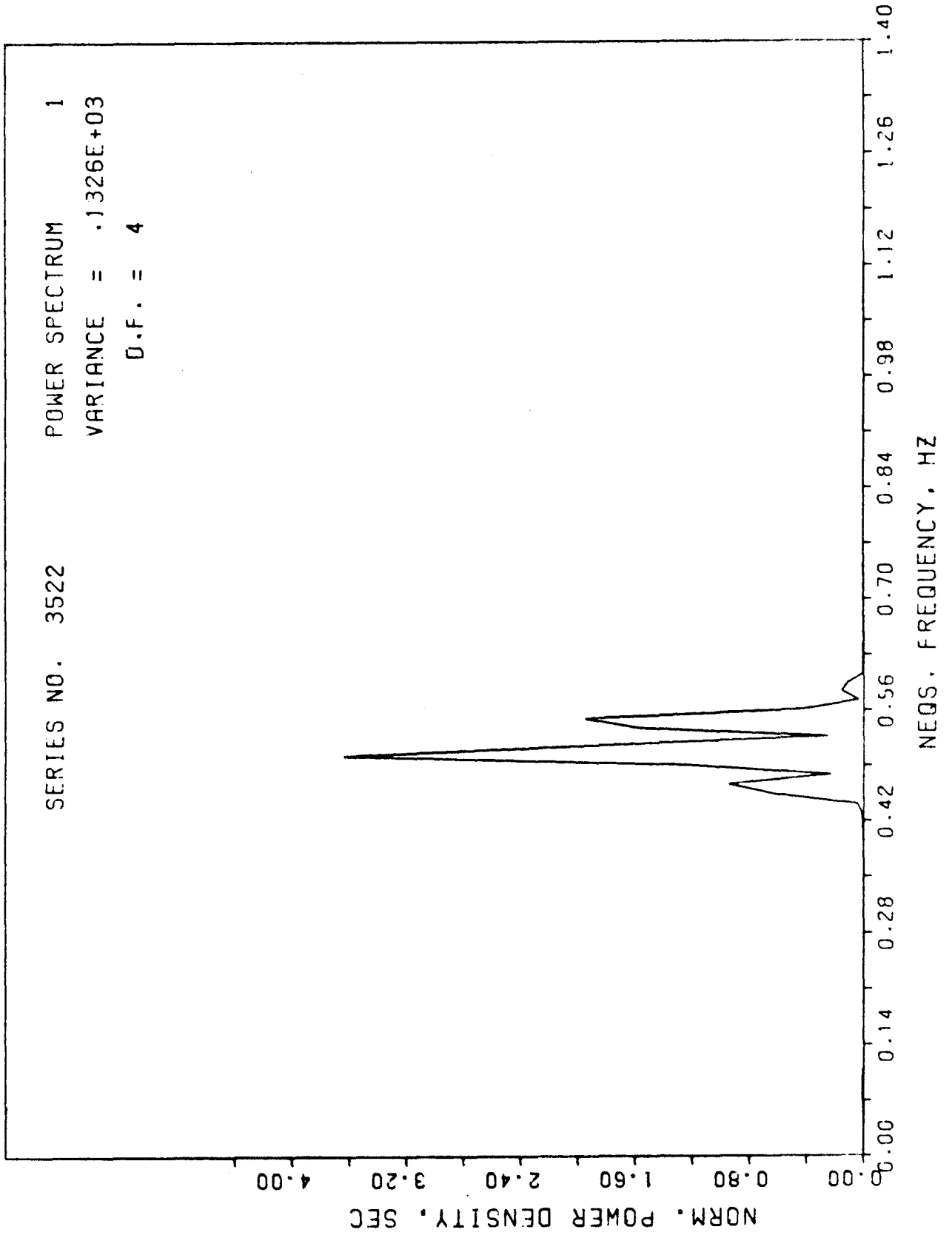


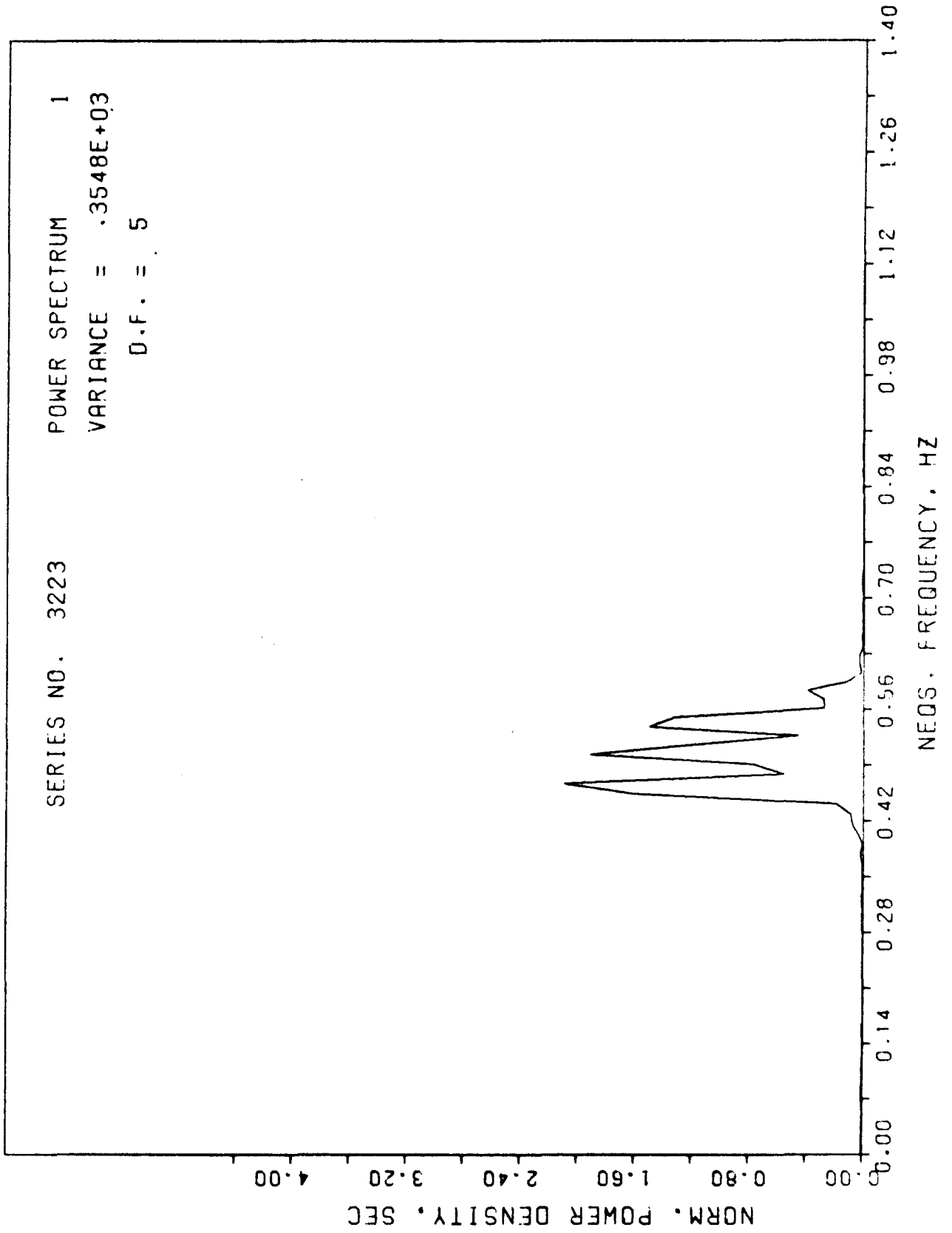


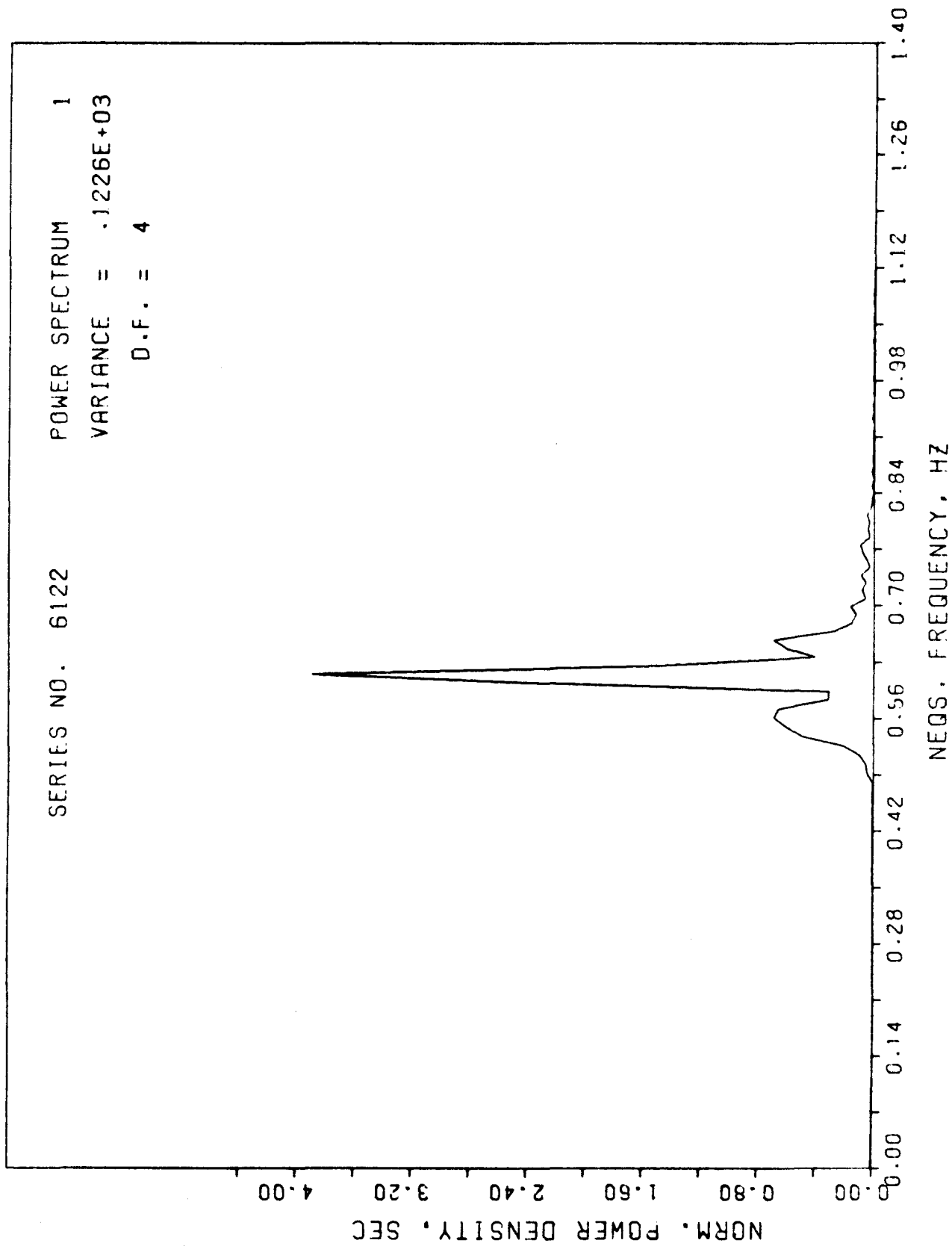


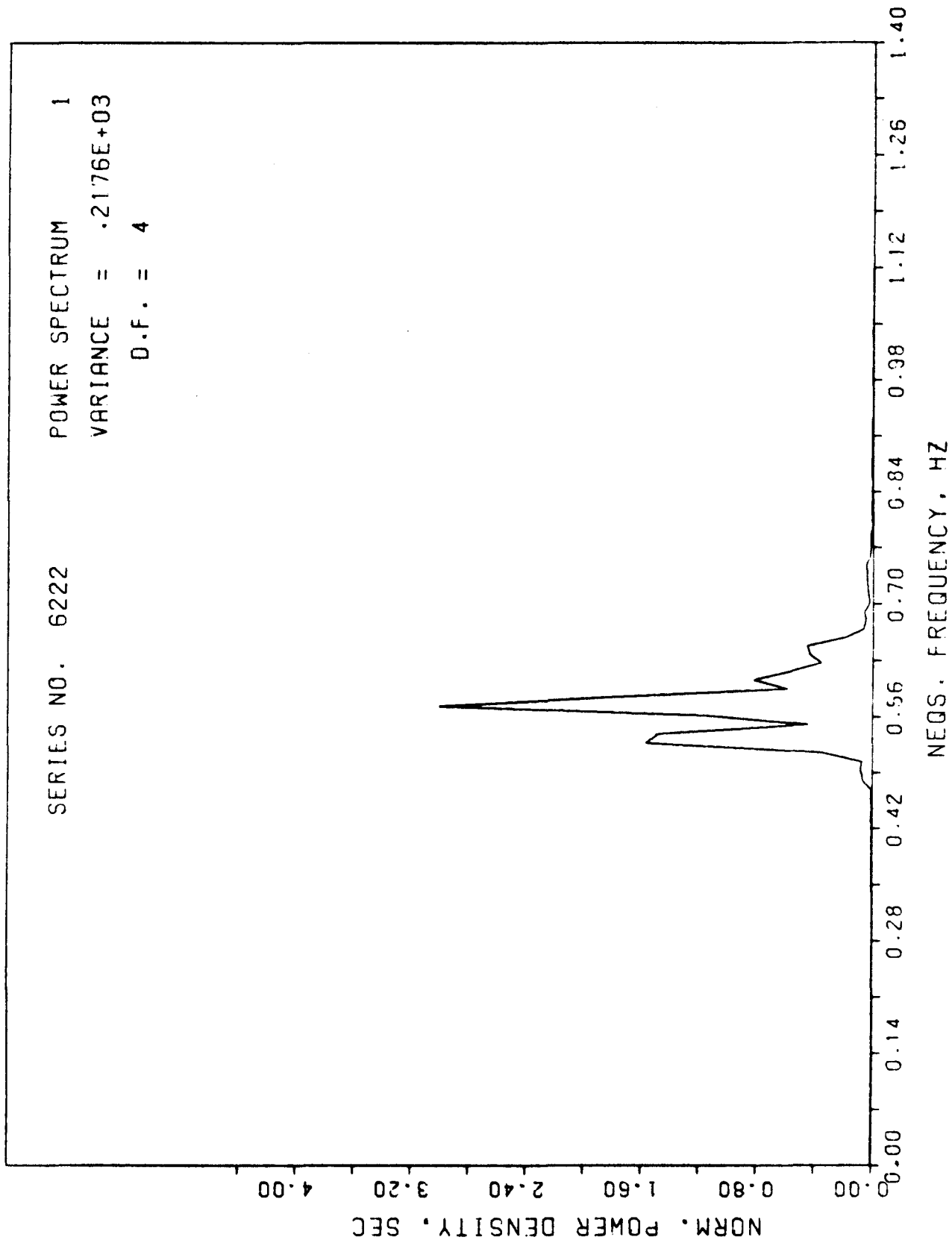


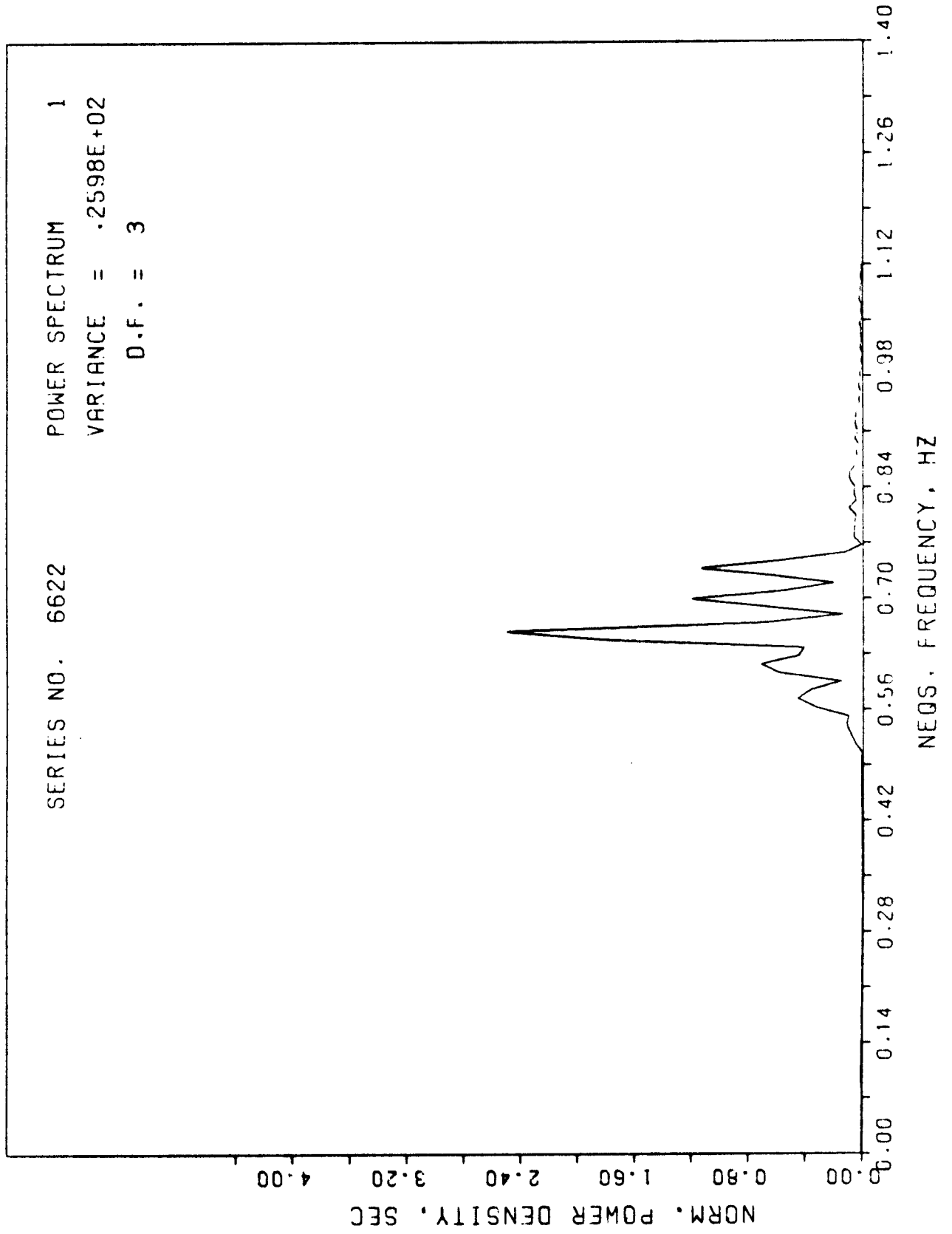


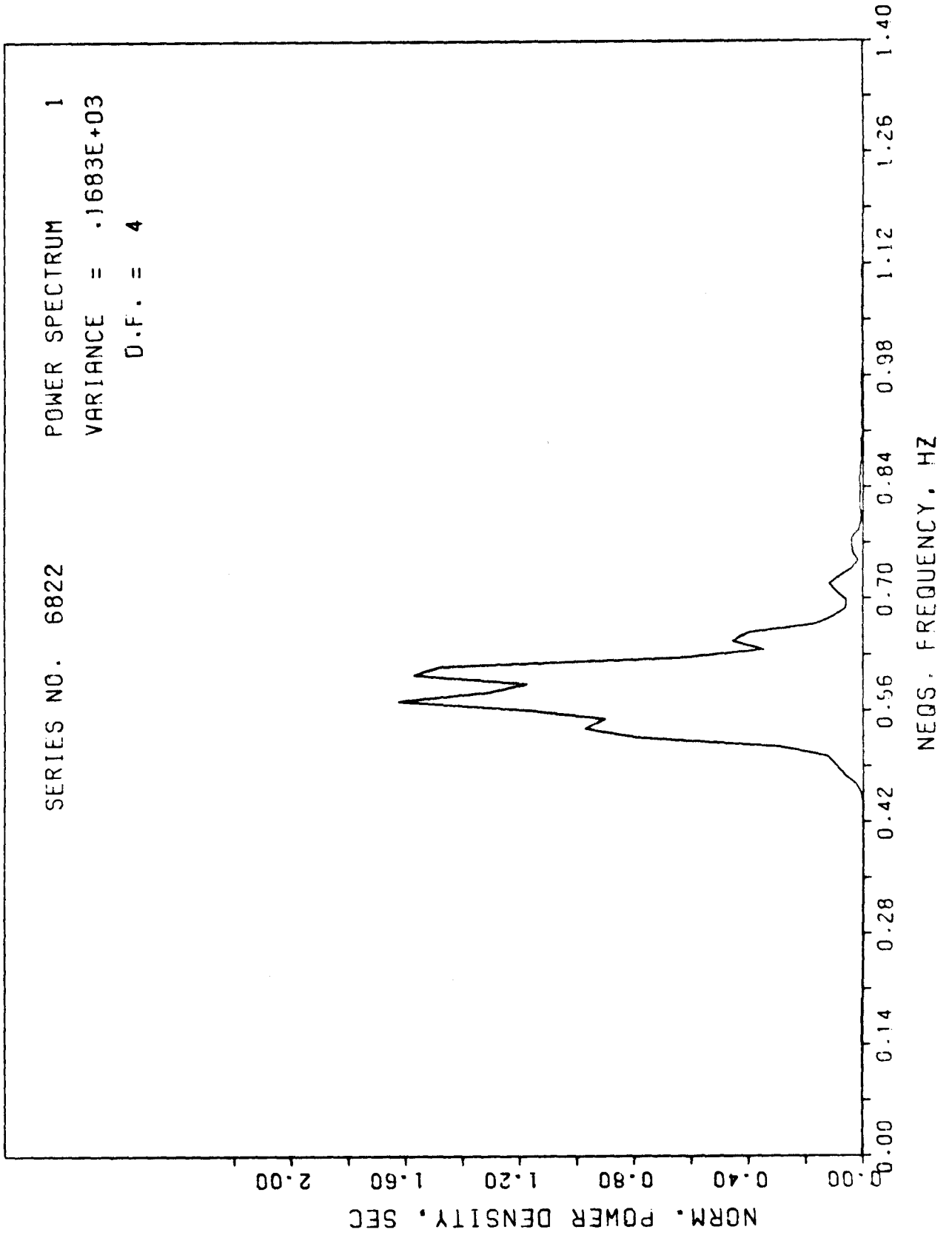


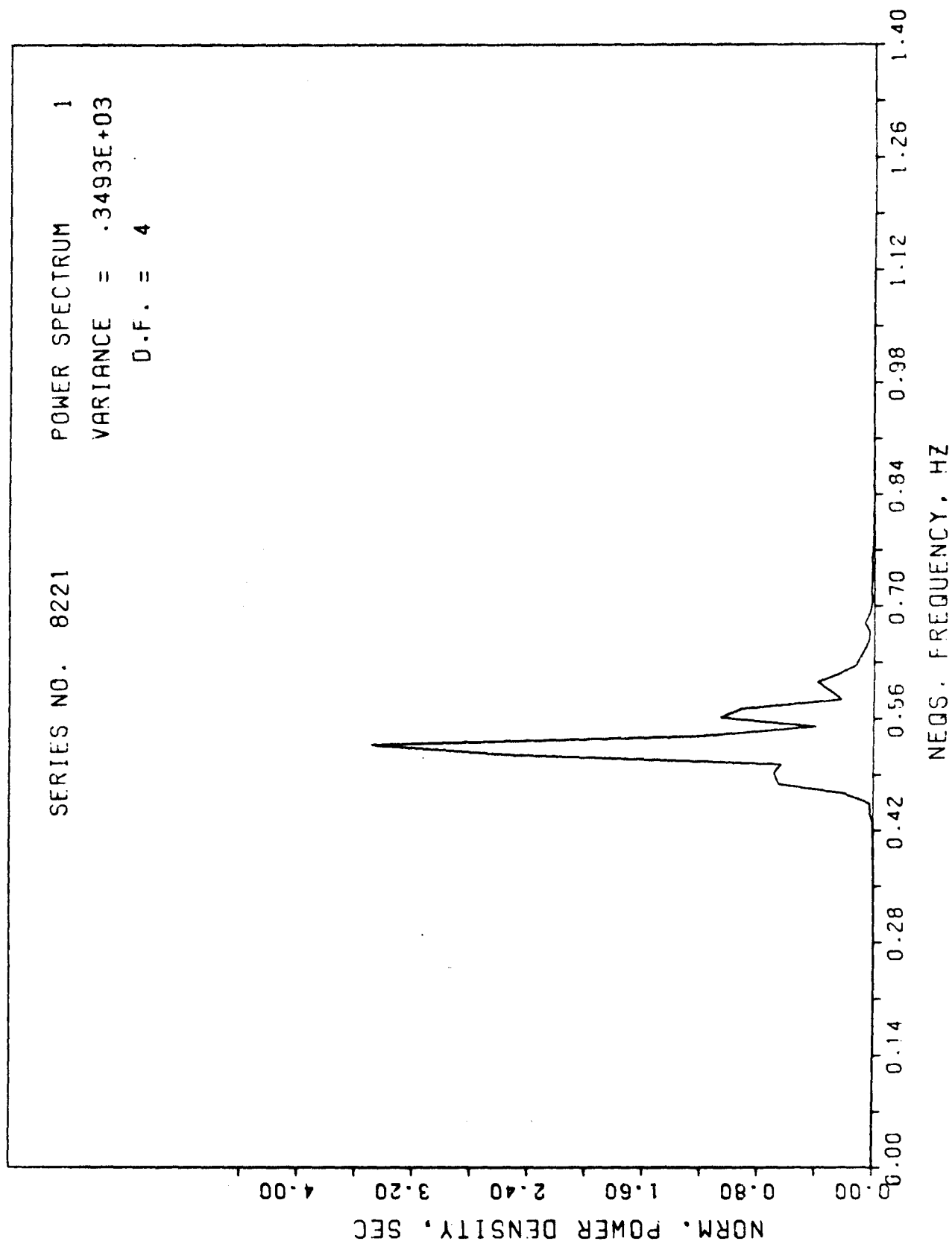


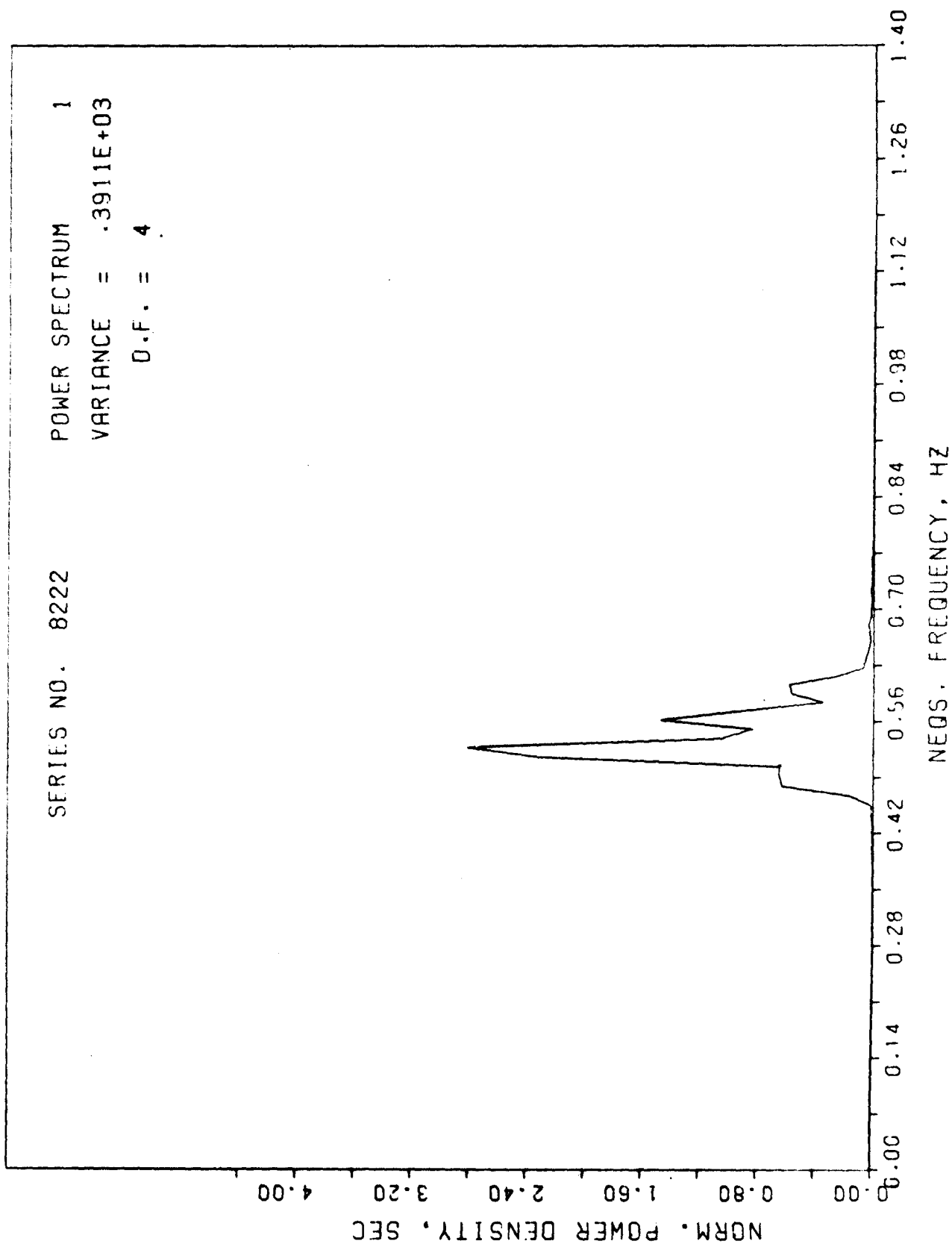


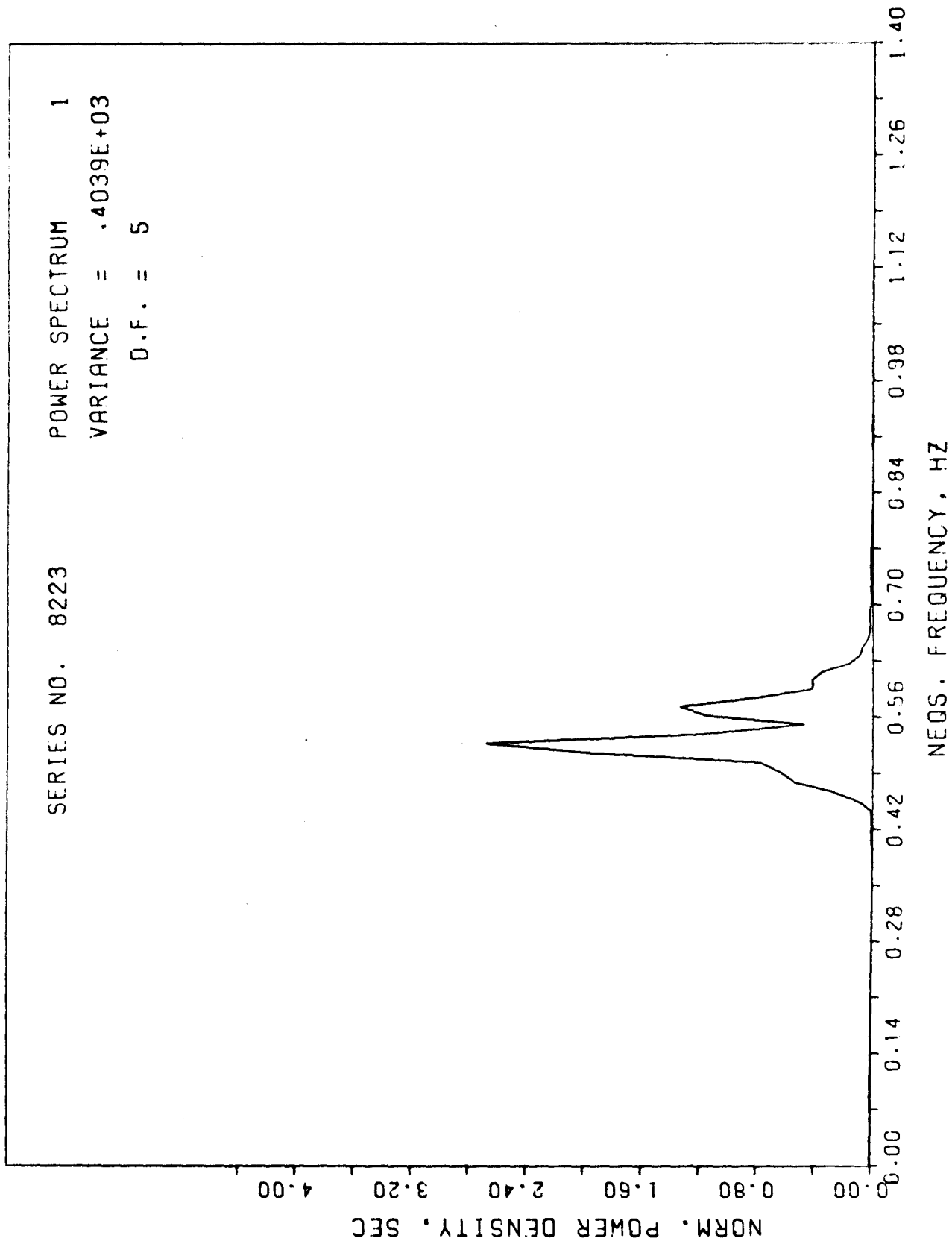


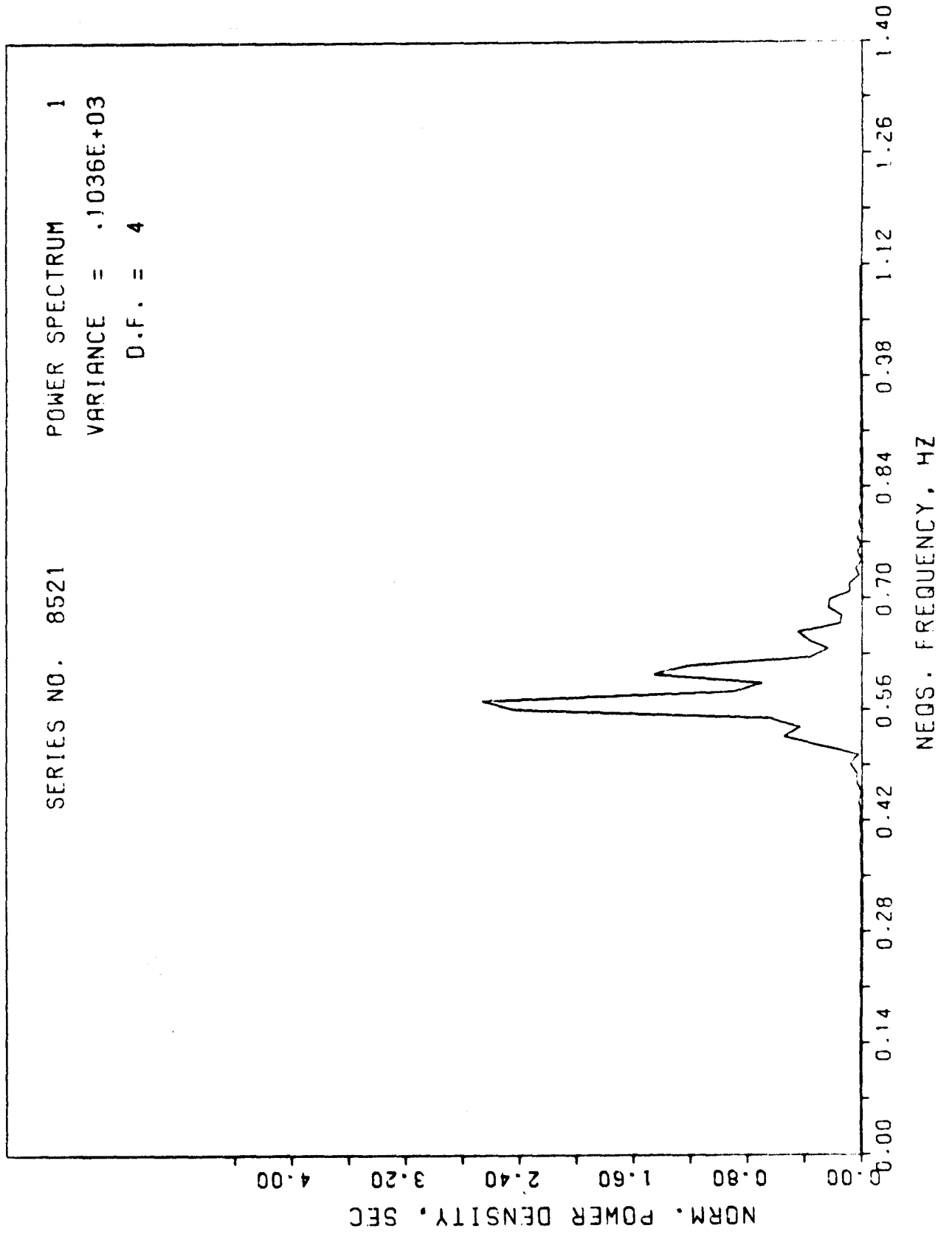


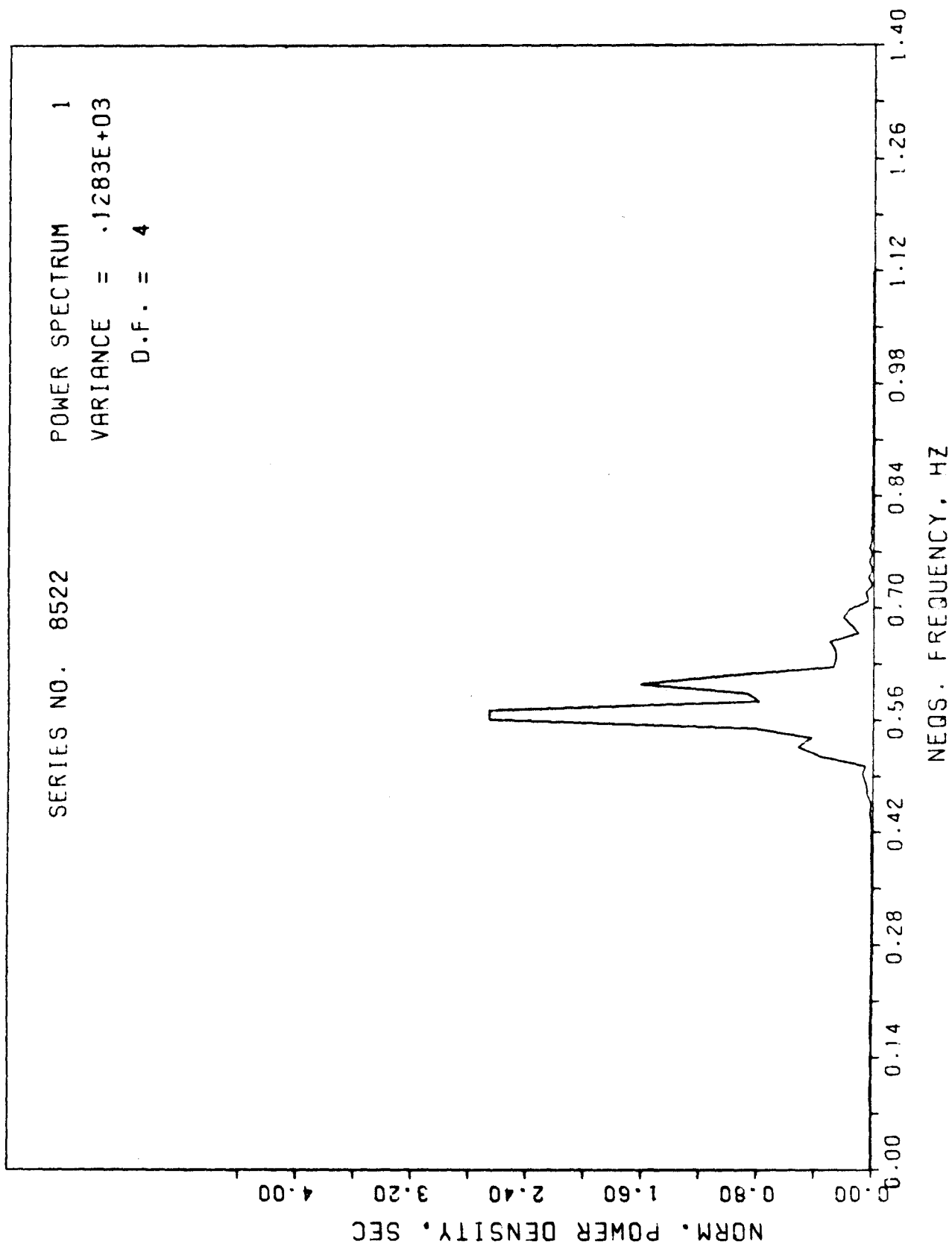


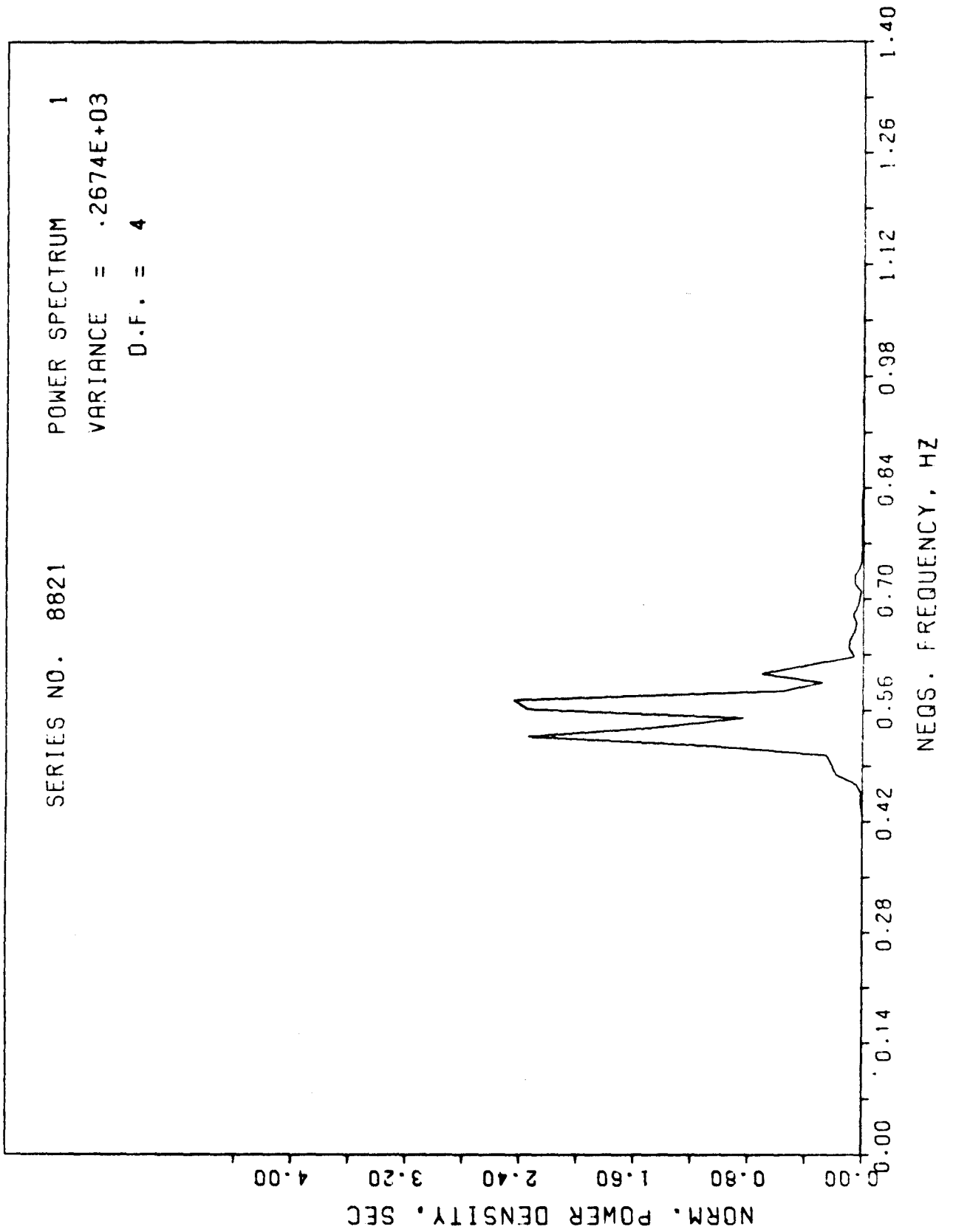


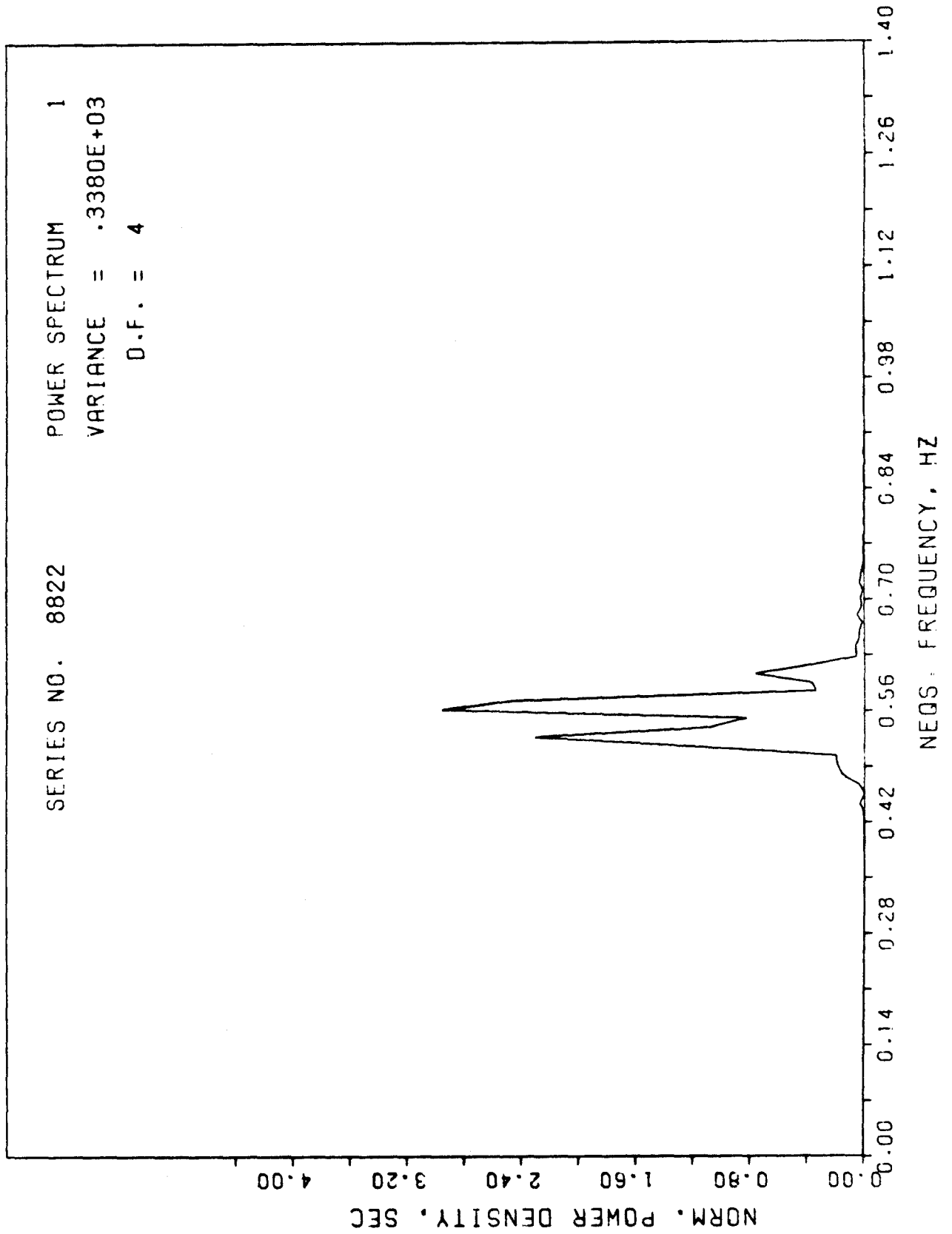


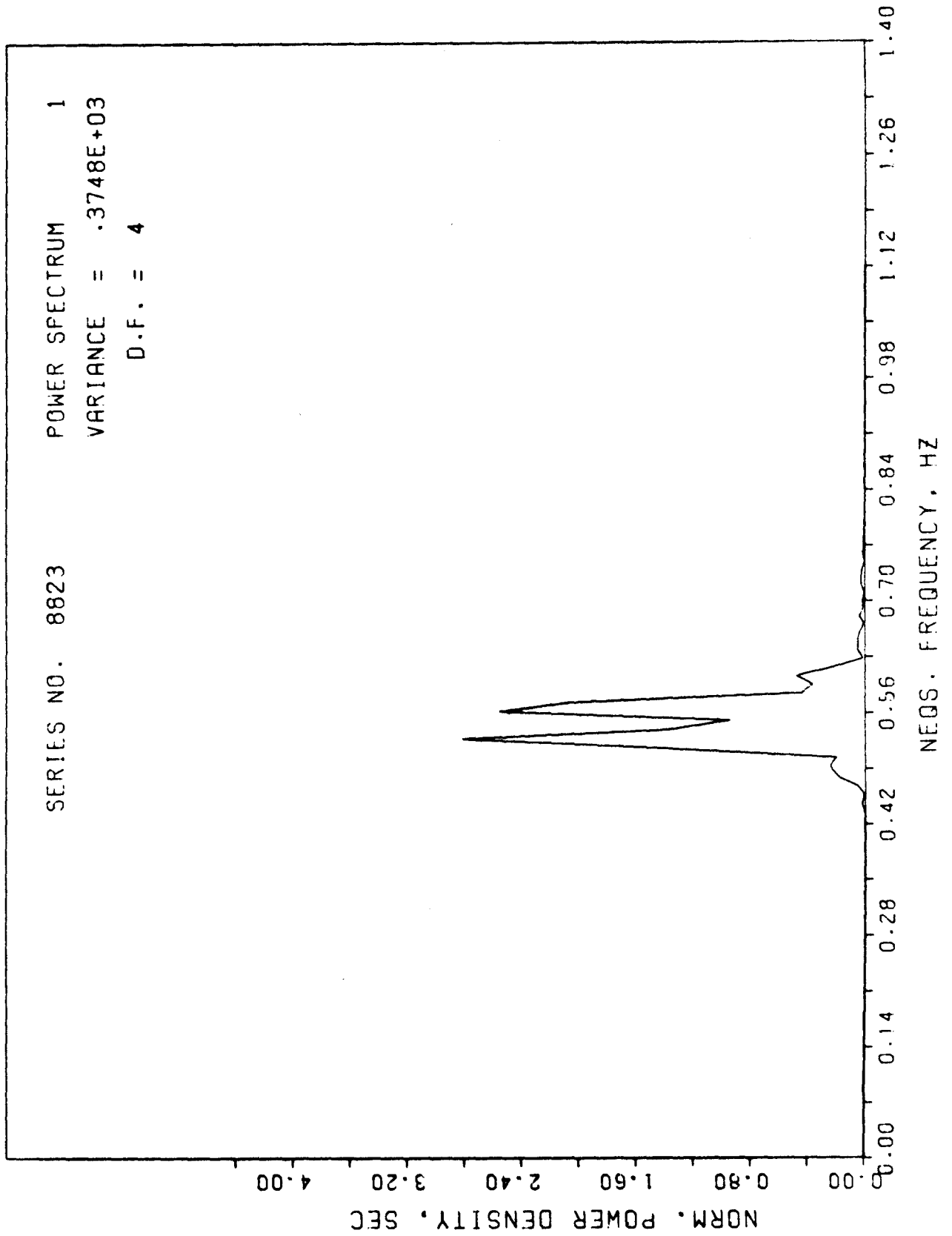


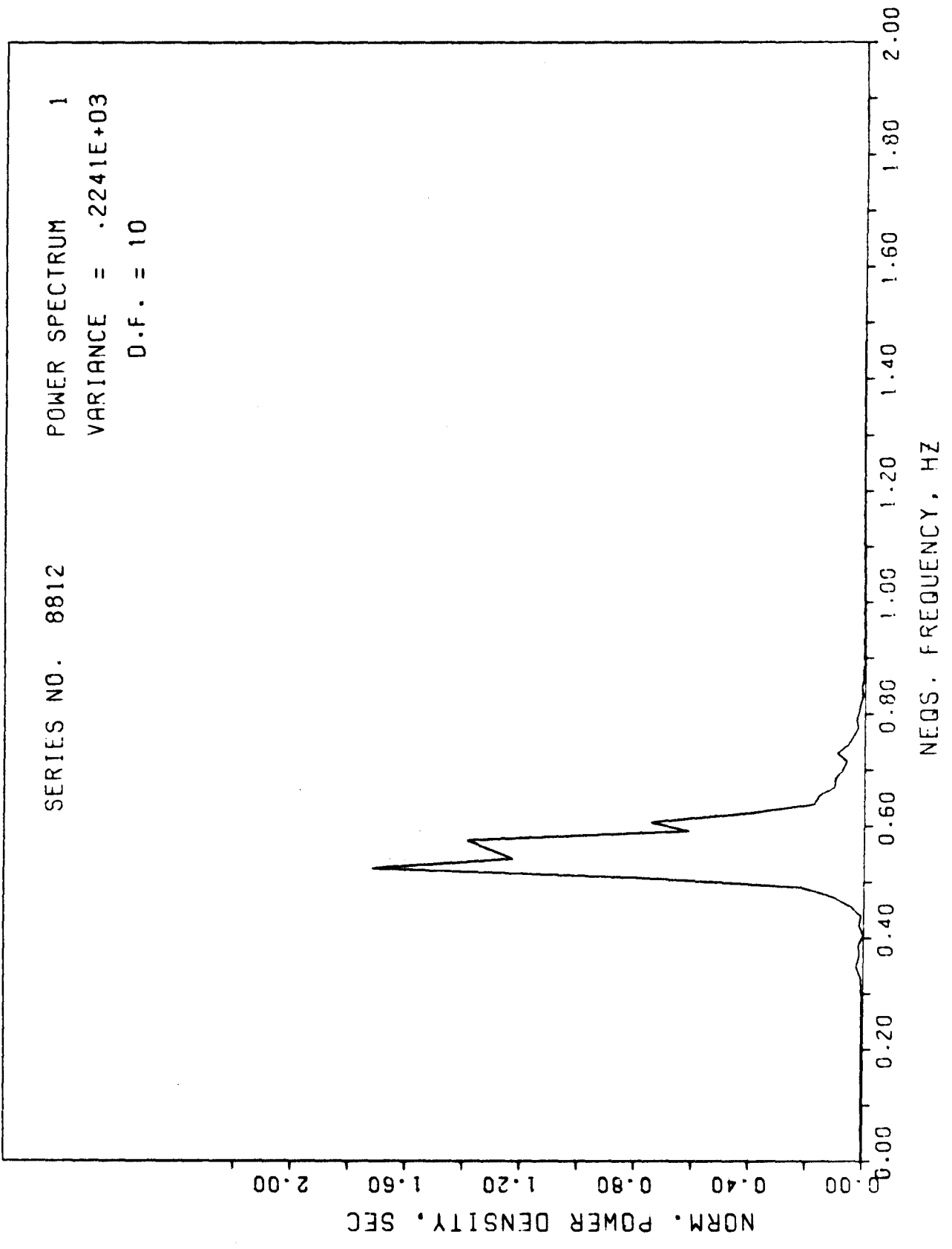


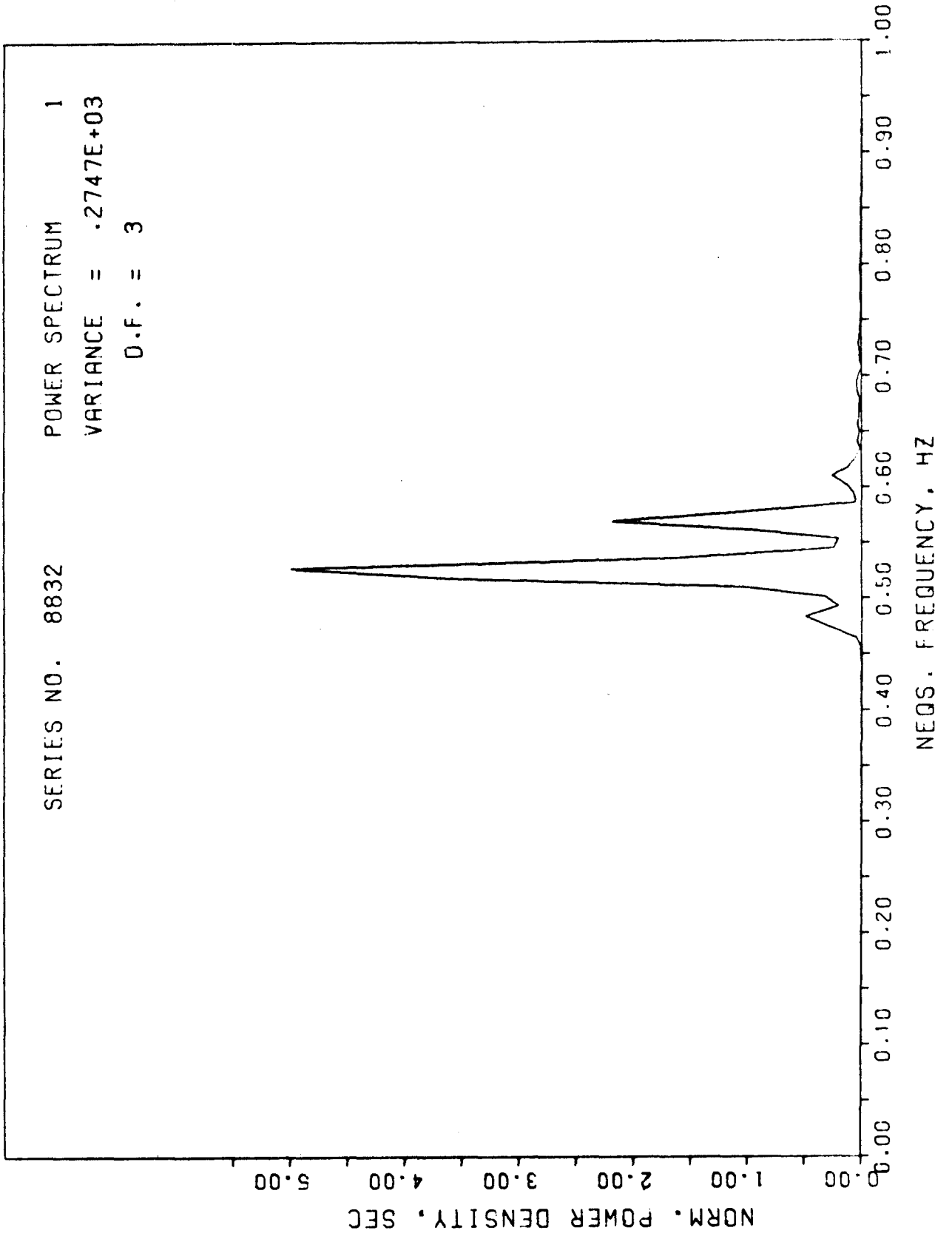






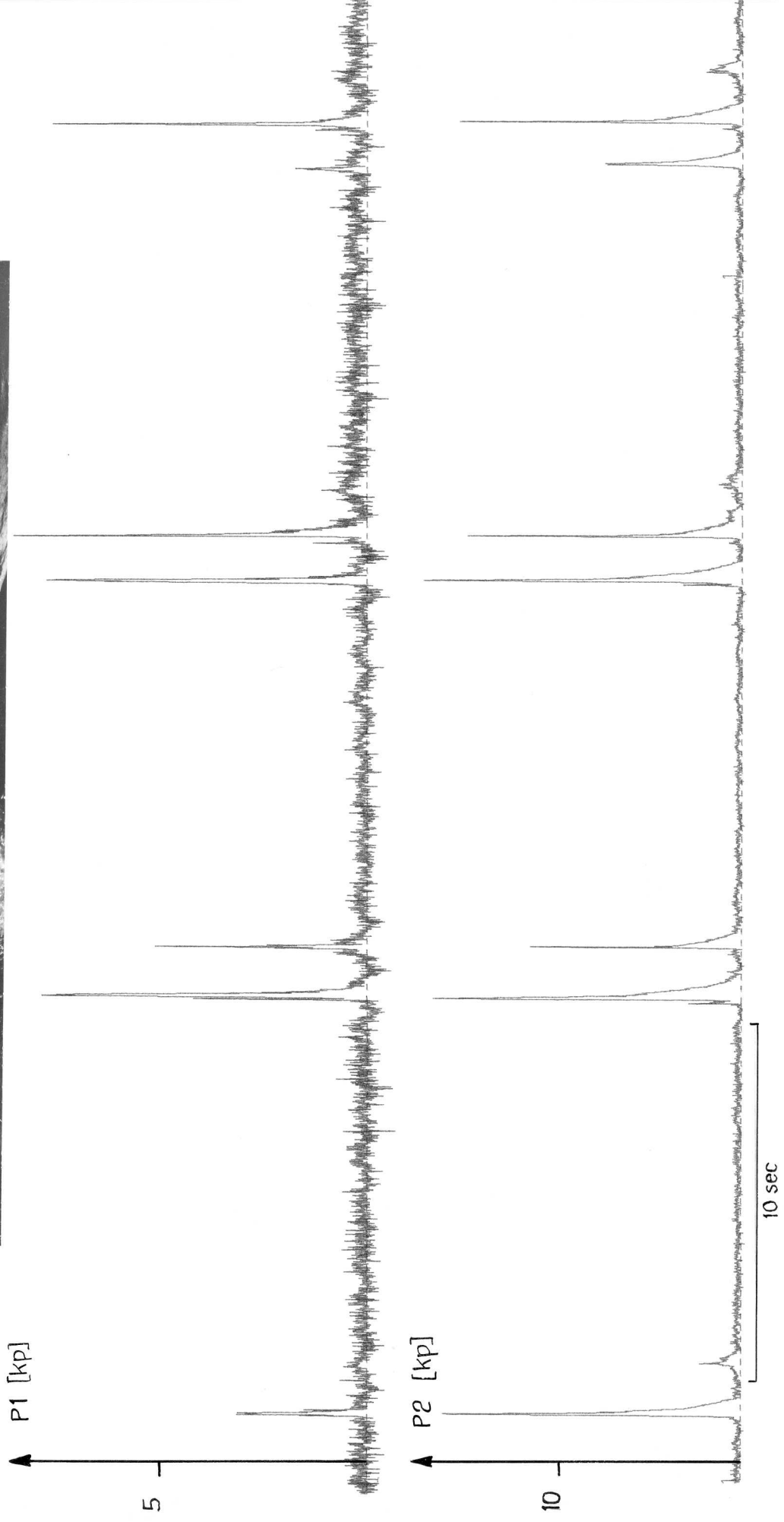
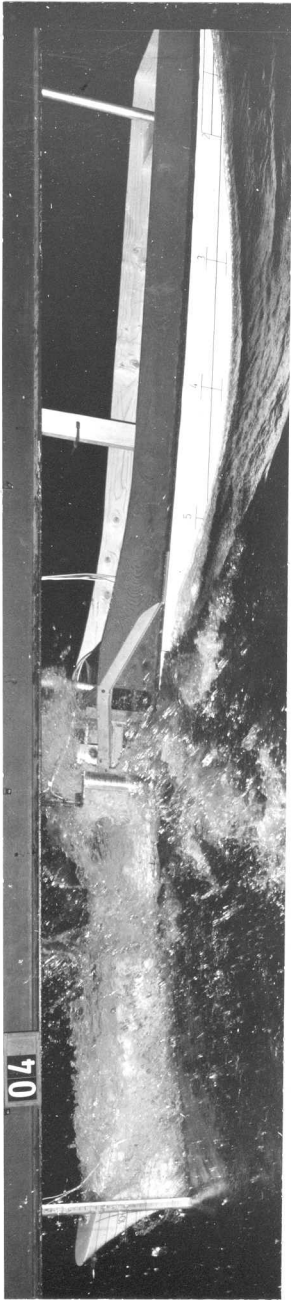




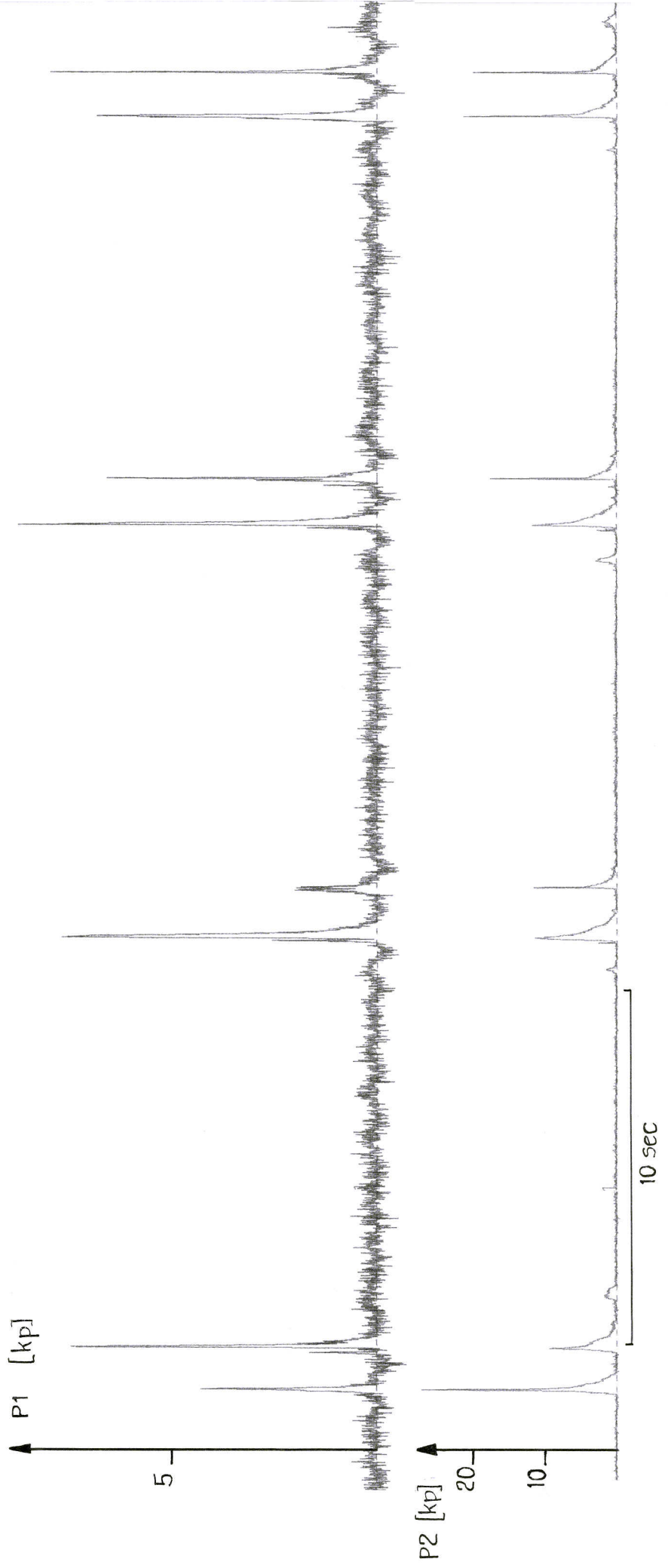
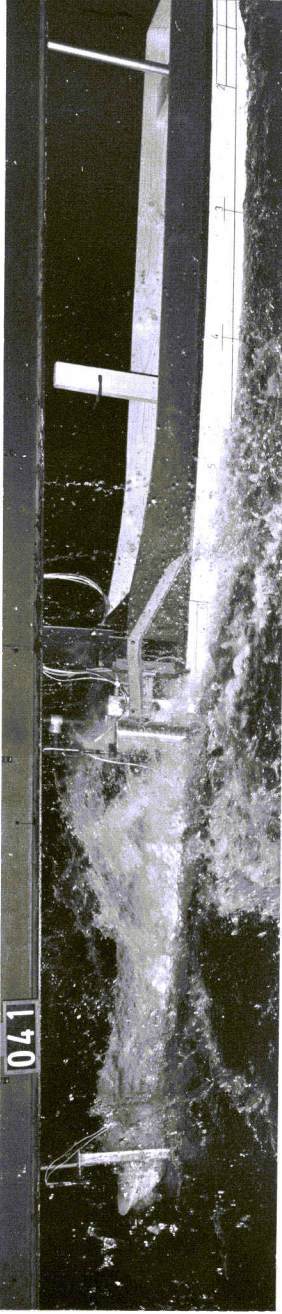


ANHANG 3

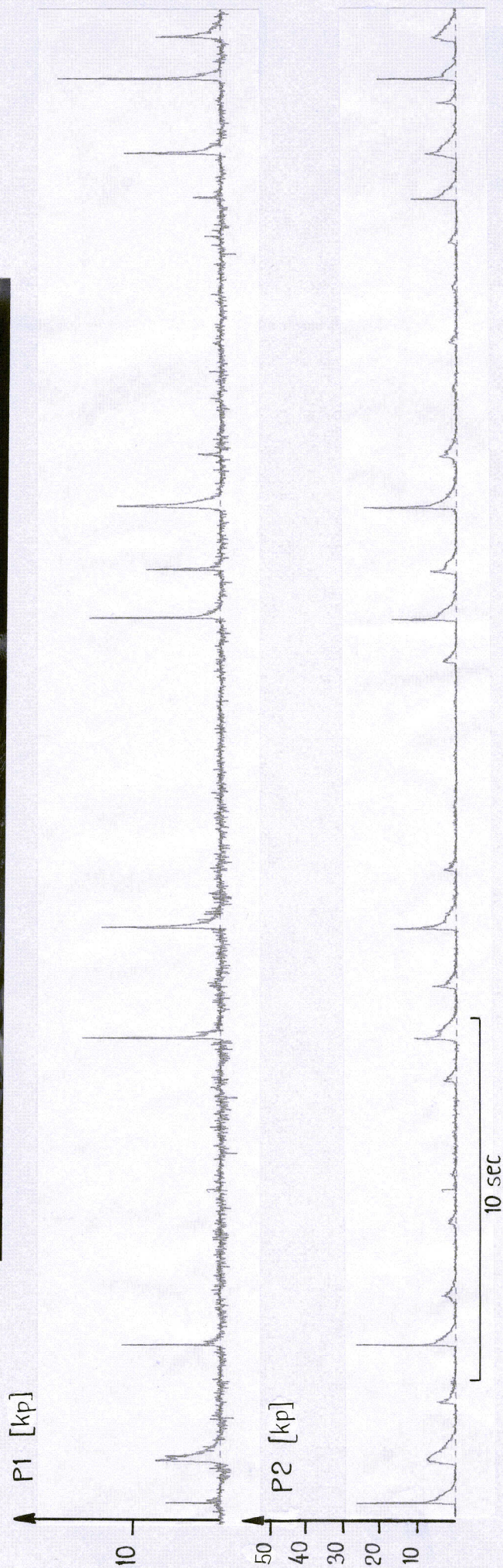
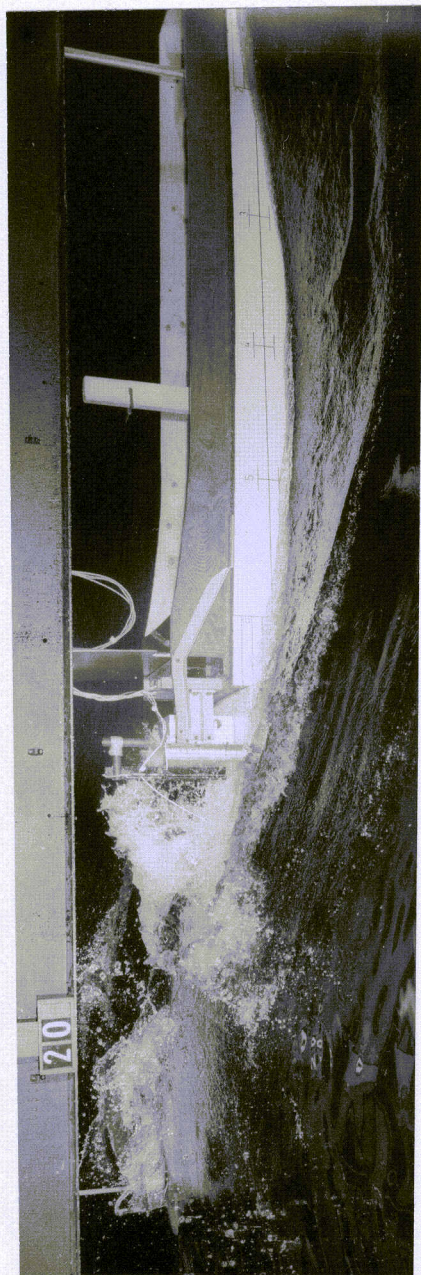
Registrierung der durch Seeschlag
erzeugten Kräfte



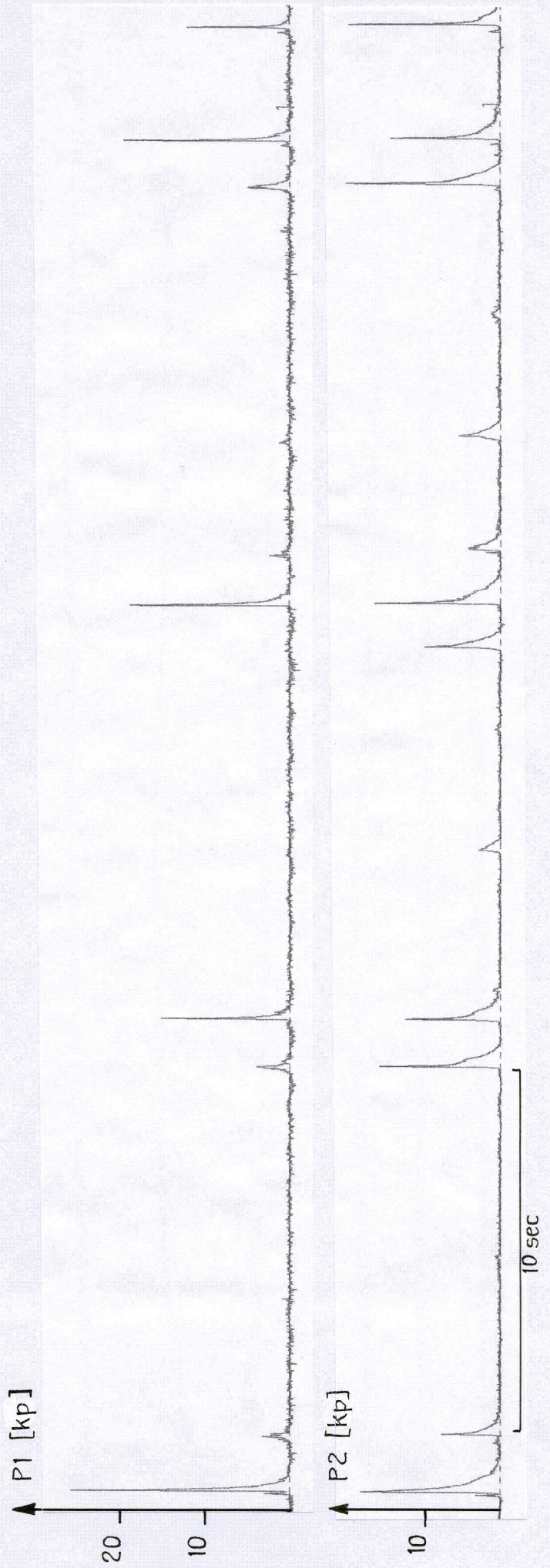
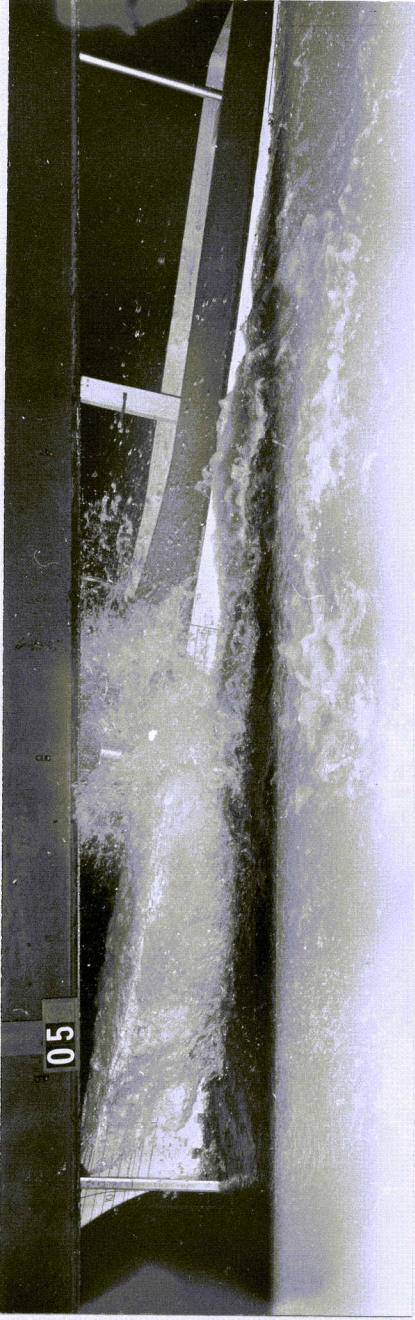
Kraft durch Seeschlag, Series No. 3222



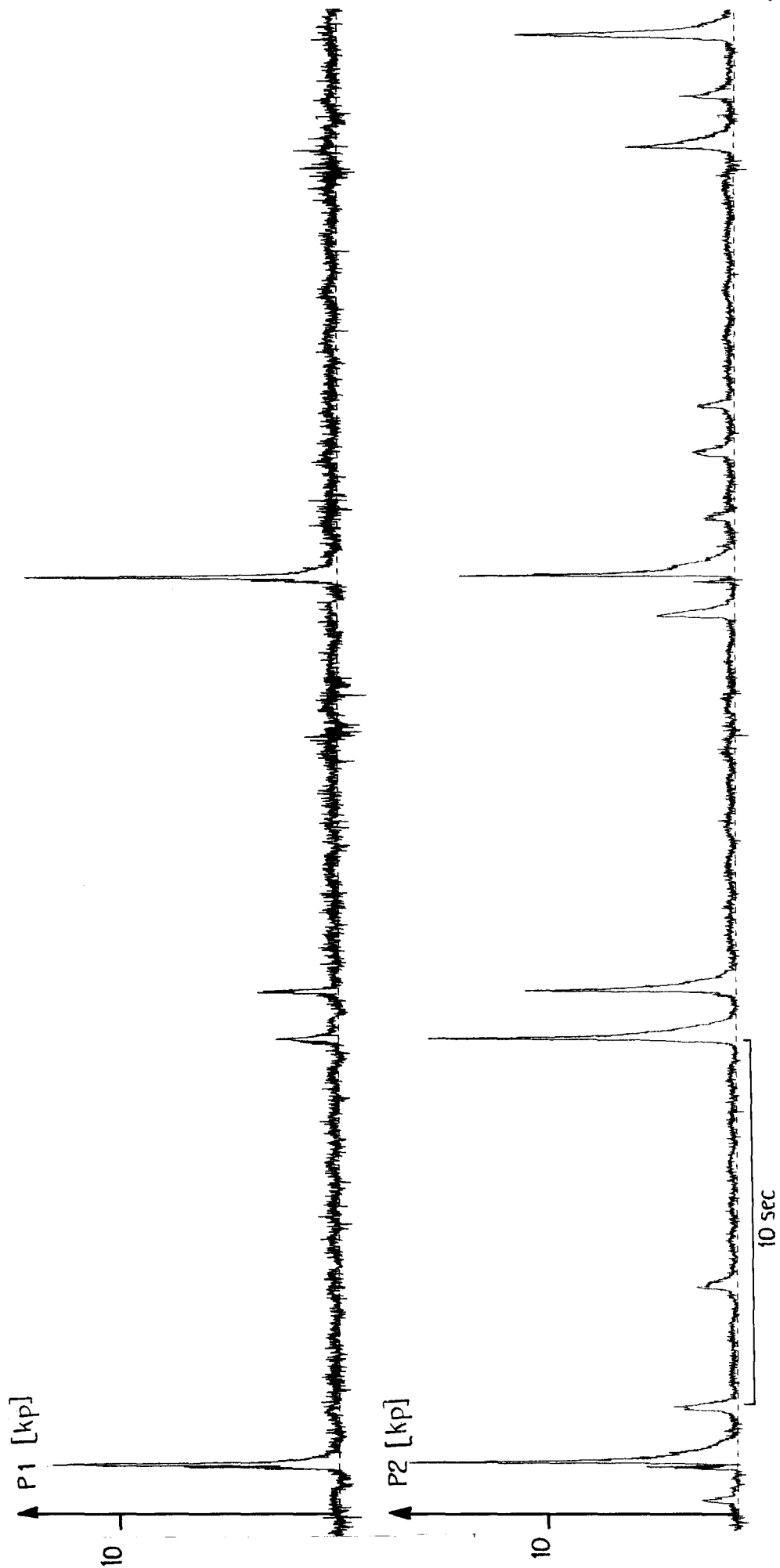
Kraft durch Seeschlag, Series No. 3222 a



Kraft durch Seeschlag , Series No. 3321



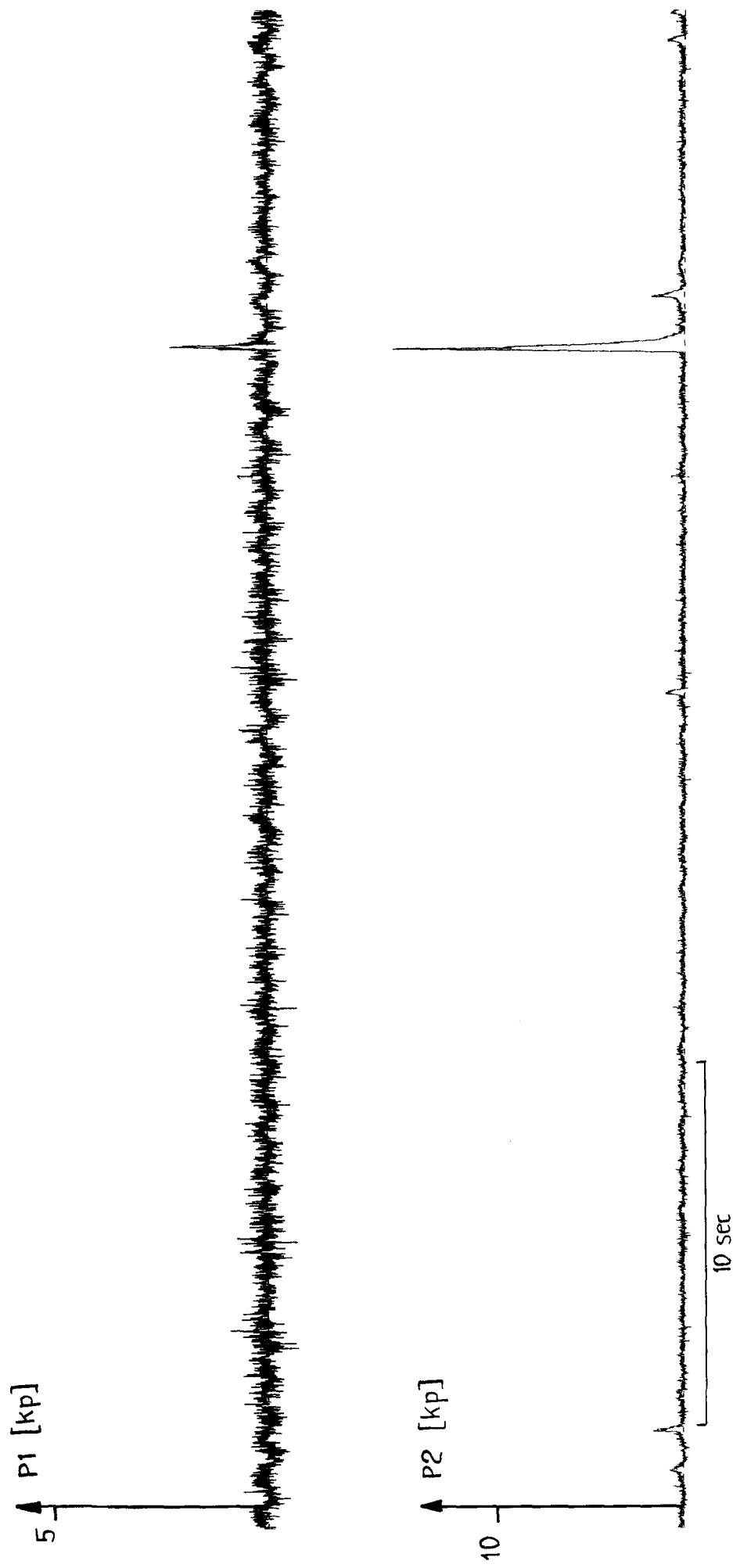
Kraft durch Seeschlag, Series No. 3322



Kraft durch Seeschlag, Series No. 3323



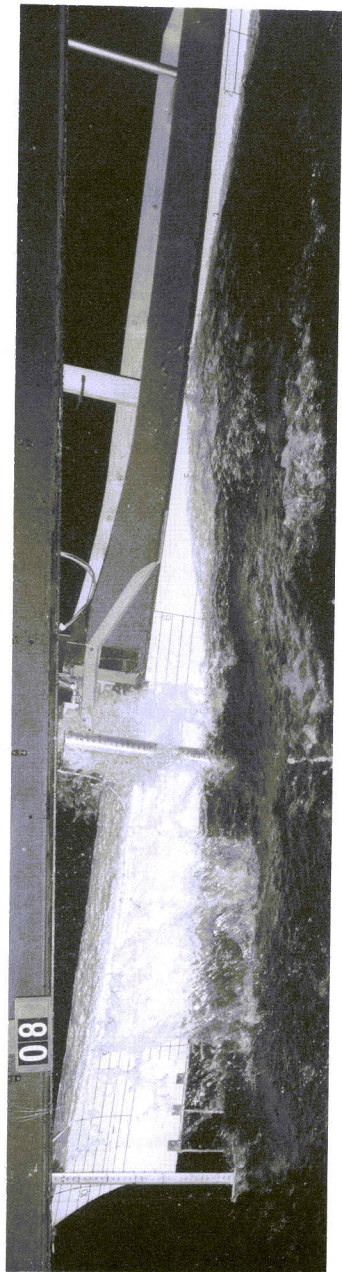
Kraft durch Seeschlag, Series No. 3223



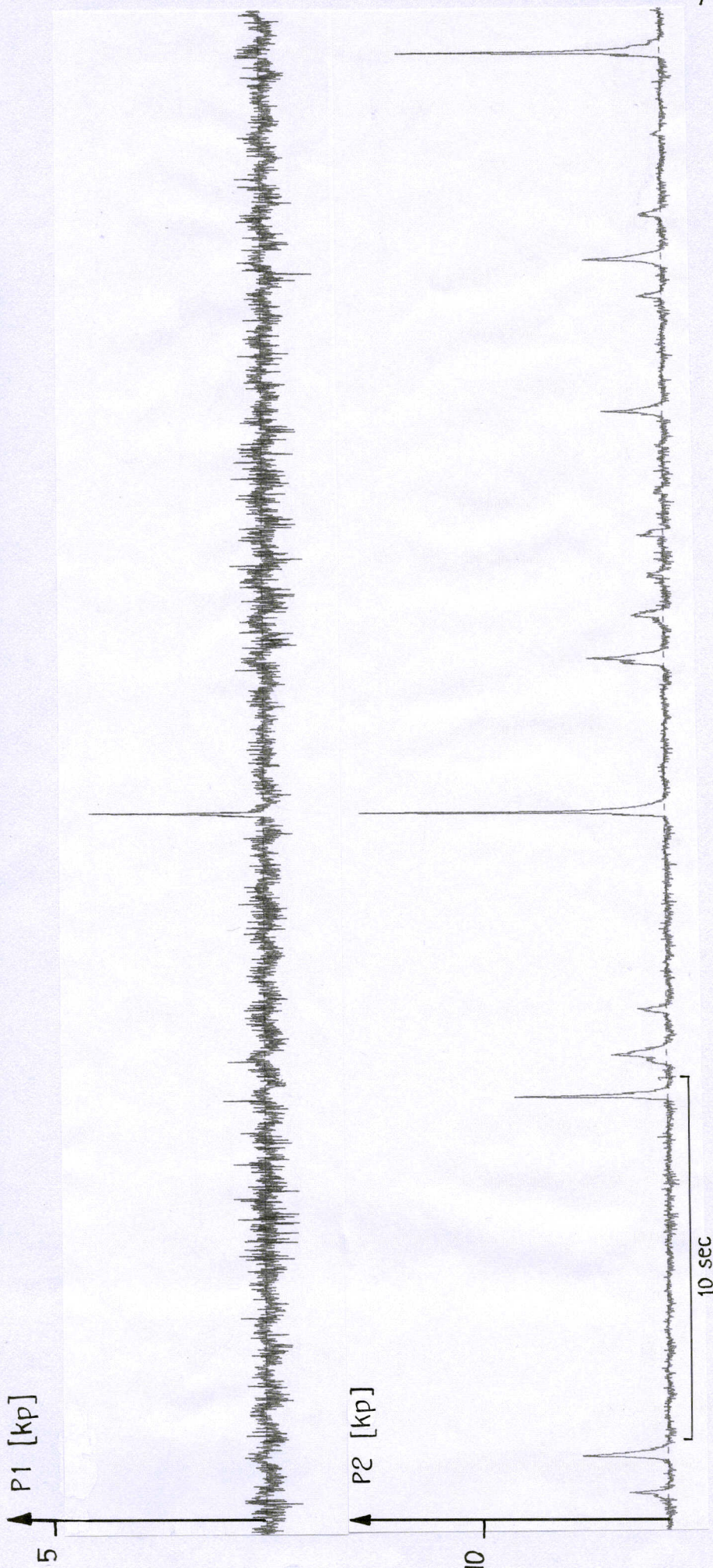
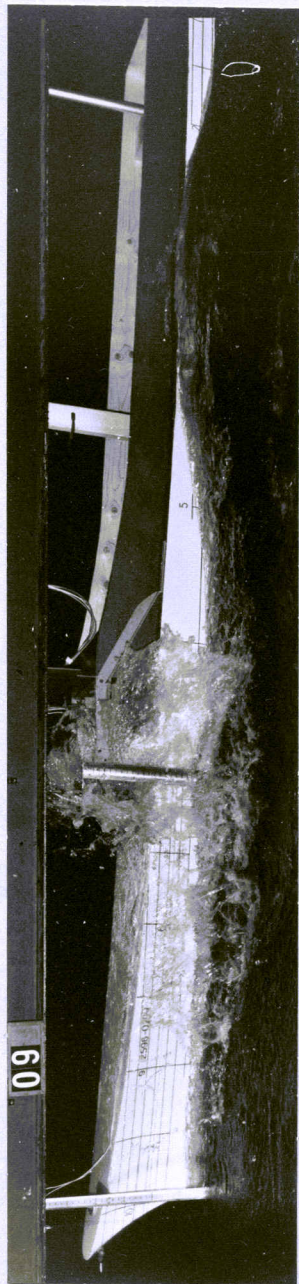
Kraft durch Seeschlag, Series No. 6222



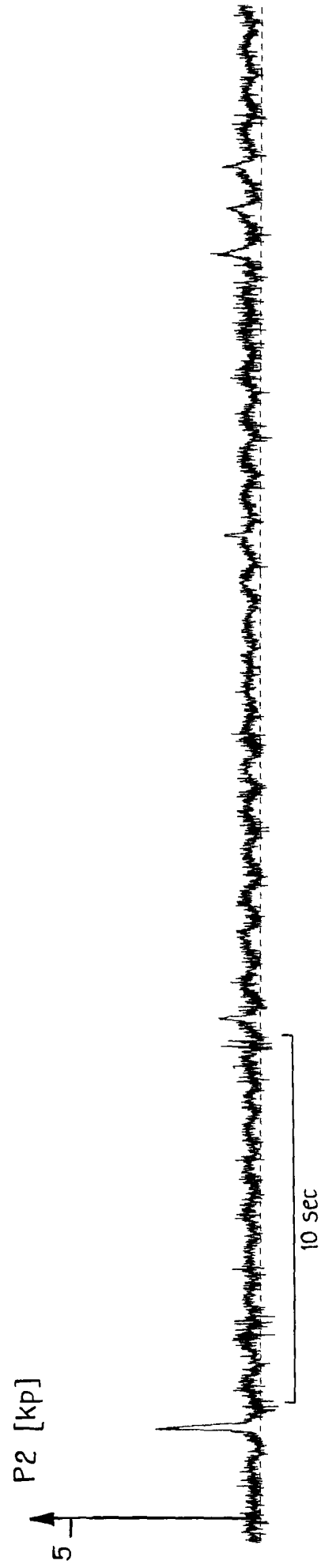
Kraft durch Seeschlag, Series No. 6822



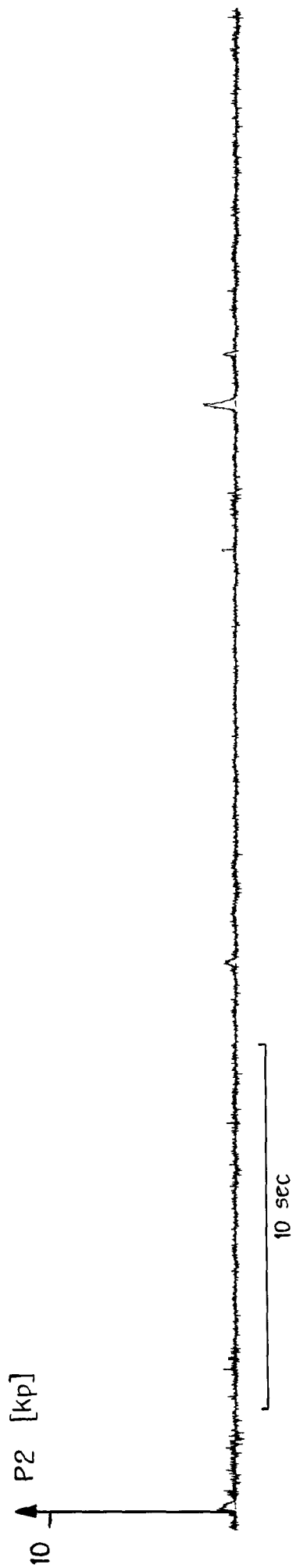
Kraft durch Seeschlag, Series No. 8222



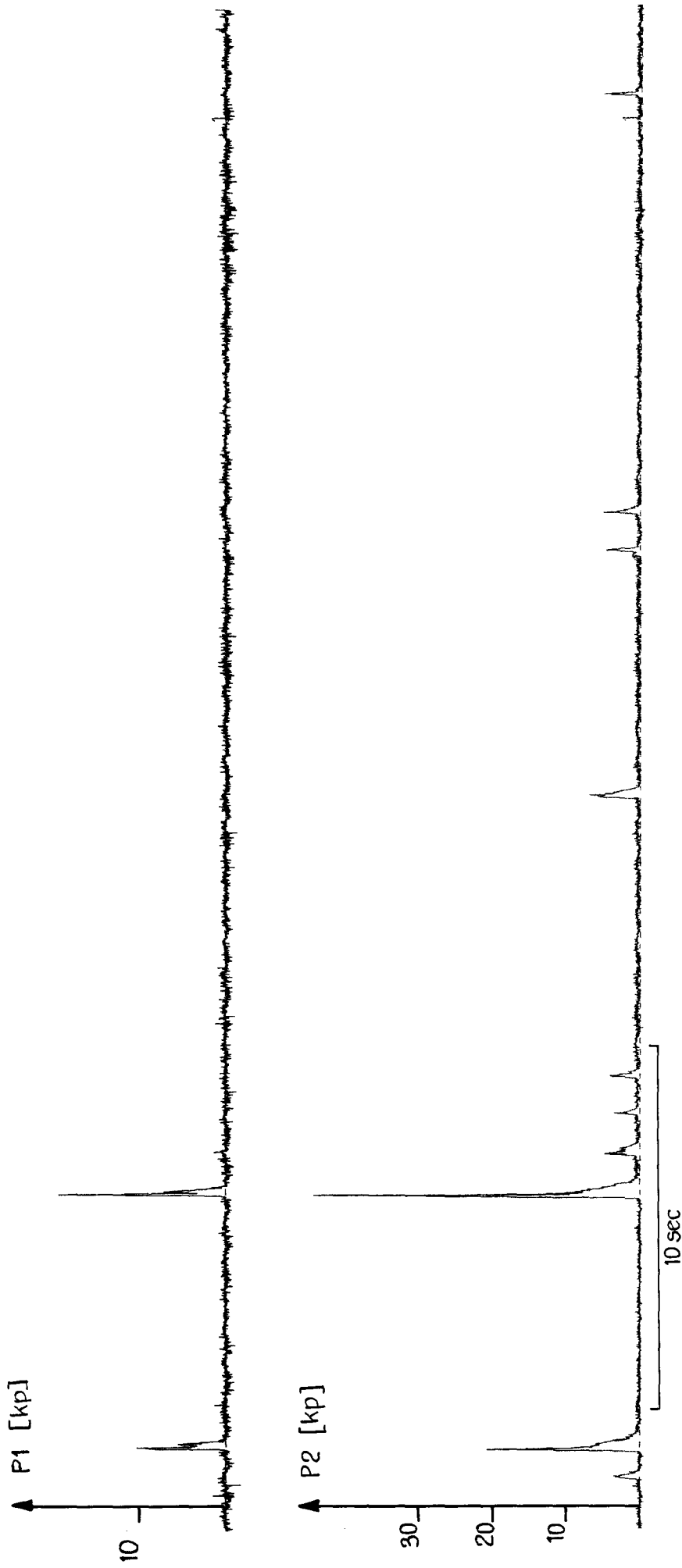
Kraft durch Seeschlag, Series No. 8822



Kraft durch Seeschlag, Series No. 8823



Kraft durch Seeschlag, Series No. 8812



Kraft durch Seeschlag, Series No. 8832