

155 | August 1965

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Yoshifumi Takaishi

Untersuchungen über den Einfluß der Tanklage und nichtlinearer Dämpfungseffekte auf die Wirkung eines Schlingertanks

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 155

Untersuchungen über den Einfluß der Tanklage und nicht-
linearer Dämpfungseffekte auf die Wirkung eines Schlingertanks

von

Yoshifumi Takaishi

August 1965

Die Rollbewegung des Schiffes mit Schlingertank

Die Bewegungsgleichungen des Schiffes mit Schlingertank nach Chadwick and Klotter [1] können mit den zusätzlichen Gliedern für die Kopplung zwischen Roll- und Querbewegung ergänzt werden (A.1). Diese zusätzlichen Glieder werden ebenso wie die anderen durch hydrodynamische Kräfte verursachten Glieder nach Grim [2] ausgedrückt (A.2).

Bild 1 zeigt eine schematische Zeichnung des Schiffes und des Schlingertanks vom Flahmschen Typ. H_t ist negativ, wenn der Tank oberhalb des Originalpunktes Q liegt, weil die Gleichungen in Bezug auf diesen Punkt gebildet werden.

Rollbewegung

$$\left[J_s \ddot{\phi} + B_s \dot{\phi} + K_s \phi + M_a \ddot{y} + N_a \dot{y} + \right]_{st} \ddot{\psi} + K_{st} \psi = M$$

Bewegung des Tankwassers

(1)

$$\left[J_t \ddot{\psi} + B_t \dot{\psi} + K_t \psi + \right]_{st} \ddot{\phi} + K_{st} \phi - \frac{K_t}{g} \ddot{y} = 0$$

Querbewegung

$$M_s \ddot{y} + B_a \dot{y} + F_r \ddot{\phi} + G_r \dot{\phi} + \frac{K_t}{g} \ddot{\psi} = K$$

wobei

$$J_s = I + I''$$

$$B_s = \frac{\rho g^2}{\omega^3} \left(\frac{B}{2} \right)^2 \bar{A}_R^2$$

$$K_s = \rho g V' \overline{MG}$$

$$M_Q = m \cdot OG + m'' h_{sr}$$

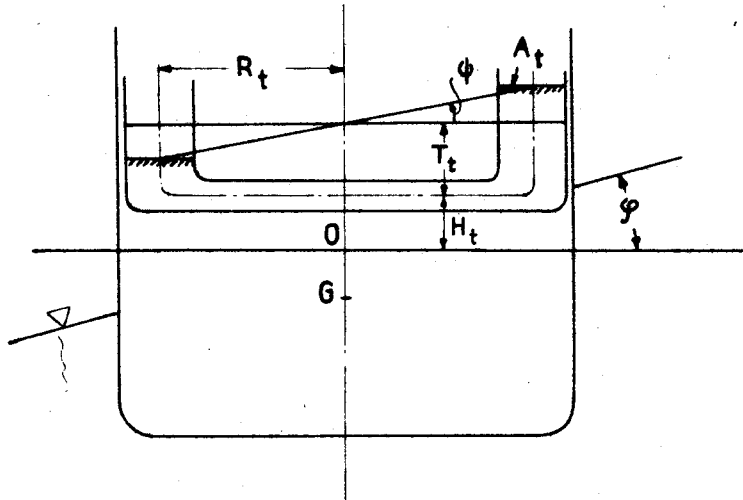


Bild 1

$$N_Q = \frac{\rho g^2}{\omega^3} \cdot \bar{A}_s^2 \cdot h_w \quad (2)$$

$$M_s = m + m''$$

$$B_Q = \frac{\rho g^2}{\omega^3} \bar{A}_s^2$$

$$F_r = m \cdot \bar{OG} + \frac{I''}{h_{Rr}}$$

$$G_r = \frac{\rho g^2}{\omega^3} \left(\frac{B}{2} \right)^2 \frac{\bar{A}_R^2}{h_w}$$

Die dimensionslosen Formen der Gleichungen lauten:

$$\ddot{\phi} + \kappa_s \phi' + \varphi + \xi_s \phi'' + \lambda_t \phi + \zeta_s \eta'' + \kappa_a \eta' = \phi_r \cdot e^{i\Omega\tau}$$

$$\ddot{\phi} + \mu_t \cdot \kappa_t \cdot \phi' + \mu_t^2 \phi - \sigma_s^2 \cdot \eta'' + \xi_t \cdot \phi'' + \mu_t^2 \cdot \phi = 0$$

$$\eta'' + \beta_y \eta' + \gamma_y \phi'' + \delta_y \phi' + \lambda_t \cdot \eta_s \cdot \phi'' = \phi_y \cdot e^{i\Omega\tau}$$

$$\ddot{\phi} = \frac{d^2 \phi}{d\tau^2}, \quad \tau = \omega_s t, \quad \Omega = \frac{\omega}{\omega_s}, \quad (3)$$

$$\omega_s = \sqrt{\frac{\kappa_s}{J_s}}, \quad \eta = \frac{y}{B/2}$$

*) bezeichnen die zusätzlichen Glieder, die bei Roll- und Querbewegung als Kopplung zwischen den beiden Bewegungen eintreten.

Die Koeffizienten in den Gleichungen sind durch die hydrodynamischen Koeffizienten des Schiffskörpers und die Eigenschaften des Schlingertanks wie folgt beschrieben:

$$K_s = \frac{B_s}{\sqrt{J_s K_s}} = \frac{2H \int_0^1 \{\eta^2 \bar{A}_R\} d\xi}{N \sqrt{SD}}$$

$$S = 2 \cdot C_b \left[\frac{MG}{T_0} \right] \cdot \frac{1}{H} \cdot \sigma^6$$

$$D = \frac{\pi}{4N} \frac{1}{H^3} \frac{1}{2} \int_0^1 \{I''\} d\xi + 8C_b K^2$$

$$\xi_s = \frac{J_{st}}{J_s} = \frac{2\rho_t \cdot R_t^2 A_t (T_t + H_t)}{I + I''} = \frac{2 \left[\frac{R}{B_0/2} \right] \left[\frac{A_0}{\alpha_w L B_0/2} \right] \left[\frac{T_t + H_t}{T_0} \right]}{D}$$

$$\lambda_t = \frac{K_t}{K_s} = \frac{2\rho_t \cdot g A_t \cdot R_t^2}{\rho g V' MG} = \frac{\alpha_w \left[\frac{A_0}{\alpha_w L B_0/2} \right] \cdot \left[\frac{R}{B_0/2} \right]^2}{2 \left(\frac{1}{H} \right) \cdot \left[\frac{MG}{T} \right]}$$

$$\zeta_s = \frac{B}{2} \cdot \frac{M_a}{J_s} = \frac{m \cdot \overline{OG} + m'' h_{sr}}{I + I''} \cdot \frac{B}{2} = \frac{\pi \left(\left[\frac{m}{\rho T^2} \right] \int_0^1 d\xi + \frac{1}{2} \left[\frac{m''}{\rho T^2} \right] \int_0^1 \frac{h_w}{T} d\xi \right)}{NH^2 \cdot D}$$

$$K_a = \frac{B}{2} \frac{N_a}{\sqrt{J_s K_s}} = \frac{B}{2} \cdot \frac{h_w B_a}{\sqrt{J_s K_s}} = \frac{\int \left[\frac{h_w}{T} \right] \left[\bar{A}_s^2 \right] d\xi}{N \sqrt{2S \cdot D}}$$

$$\phi_r = \frac{M}{K_s} = \frac{\int \eta \cdot \beta \cdot \left[\frac{h_w}{T} \right] \left\{ \left[\frac{K_r}{\rho g v \alpha_0} \right] + i \left[\frac{K_i}{\rho g v \alpha_0} \right] \right\} d\xi}{N \cdot C_b \cdot \left[\frac{MG}{T} \right]}$$

$$\phi_y = \frac{K}{\frac{B}{2} (m+m')} \left(\frac{J_s}{K_s} \right) = \frac{4H^2 D \int \eta \beta \left\{ \left[\frac{K_r}{\rho g v \alpha_0} \right] + i \left[\frac{K_i}{\rho g v \alpha_0} \right] \right\} d\xi}{\pi C_b \left[\frac{MG}{T} \right] \left\{ \int \left[\frac{m}{\rho \frac{1}{2} T^2} \right] d\xi + \int \left[\frac{m''}{\rho \frac{1}{2} T^2} \right] d\xi \right\}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{B_0 \omega^2}{2g}}$$

wobei N Streifenzahl, C_b Völligkeitsgrad des Schiffes,

$$\alpha_w \text{ Wasserlinie Koeffizient, } H = \frac{B_0}{2T_0}$$

B_0, T_0 Breite und Tiefgang des Hauptspants bezeichnet.

Es wird vorausgesetzt, daß die hydrodynamischen Kräfte, die durch eine Welle an einem Querschnittselement des Schiffskörpers erregt werden, identisch sind mit den Kräften, die auf einen zweidimensionalen Körper gleichen Querschnitts in einer querlaufenden Welle gleicher Wellenschräge und gleicher Kreisfrequenz wirken würden und daß die Streifenmethode für die Integration der Kräfte anwendbar ist.

Die auf das Tankwasser bezüglichen Koeffizienten in den Gleichungen haben folgende Bedeutungen:

λ_t ist der statische Stabilitätsverlust wegen der freien Oberfläche des Tankwassers,

μ_t ist die Eigenfrequenz der freien Bewegung des Tankwassers geteilt durch die Eigenfrequenz des Schiffes,

K_t ist der Dämpfungskoeffizient des Tankwassers,

ξ_s ist der Einfluß der Trägheit des Wassers und

ξ_t ist der Einfluß der Lage des Tanks.

Während sich die linearen Bewegungsgleichungen direkt auflösen lassen, empfiehlt sich für das Studium nichtlinearer Einflüsse (insbesondere nichtlinearer Dämpfung) die Untersuchung auf einem Analogrechner. Auch gibt der Analogrechner in anschaulicher Form den Einfluß der Variation von Parametern wieder.

In der vorliegenden Arbeit werden die Einflüsse der Koeffizienten der Bewegung des Tankwassers sowie der Einfluß der Tanklage und der Querbewegung mit Hilfe eines Analogrechners untersucht. Bild 2 zeigt das Schaltungsdiagramm des Analogrechners für die Simulierung der Bewegungsgleichungen, wobei ein nichtlineares Glied eingeschlossen ist.

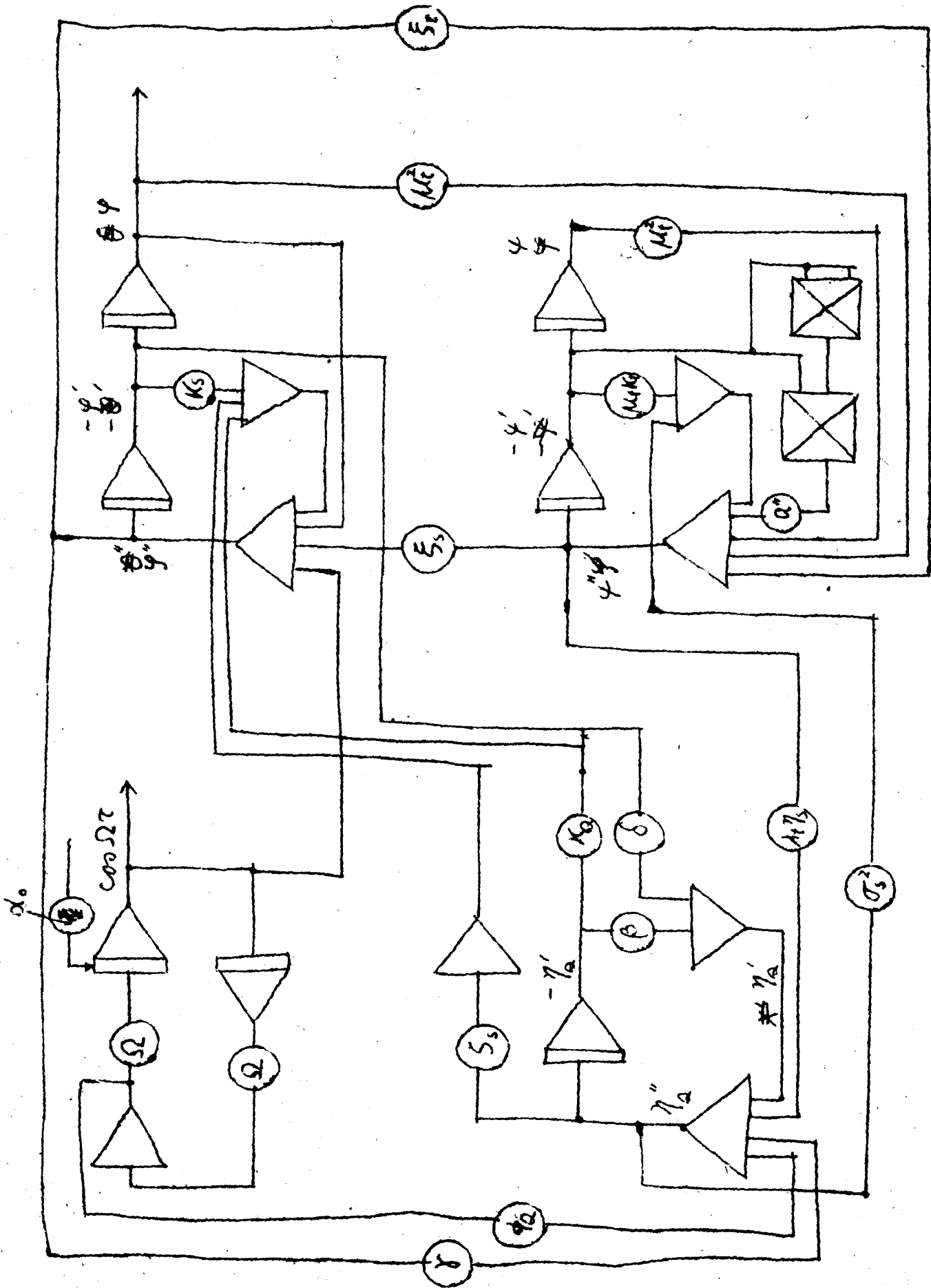


Bild 2 Schaltungsdiagramm des Analogrechners

1. Einfluß der Koeffizienten der Bewegung des Tankwassers.

Zuerst untersucht worden ist der Einfluß der Koeffizienten K_t und μ_t für die folgenden vereinfachten Bewegungsgleichungen

$$\begin{aligned}\varphi'' + K_s \varphi' + \varphi + \xi_s \varphi'' + \lambda_t \varphi &= \phi_r \\ \varphi'' + K_t \mu_t \varphi' + \mu_t^2 \varphi + \xi_t \varphi'' + \mu_t^2 \varphi &= 0\end{aligned}\quad (5)$$

Die Koeffizienten K_s , λ_t , ξ_s und ξ_t sind einem Beispiel in [1] entnommen worden.

Bild 3a zeigt den Einfluß der Dämpfung des Wassers im Schlingertank und Bild 3b zeigt den Fall, in dem die Dämpfung nicht linear ist, wobei $K_t = 0,6 + a'' \varphi^2$ angesetzt ist.

Bild 4 zeigt den Einfluß der Eigenfrequenz des Wassers im Schlingertank, wobei $K_t = 0.2$ angenommen worden ist und ξ_t mit μ_t veränderlich ist.

Bilder 5a und 5b zeigen den Einfluß der Dämpfung des Wassers, wobei die Effektivität des Tanks, λ_t , verdoppelt worden ist. Bild 5c zeigt den Einfluß der nichtlinearen Dämpfung.

[1] Einfluss der Dämpfung des Wassers im Tank

40/40

ξ_1 0,15
 ξ_2 0,20
 ξ_3 0,30
 ξ_4 0,40

ξ_5 0,50
 ξ_6 0,70

ohne Kopplung mit Saug

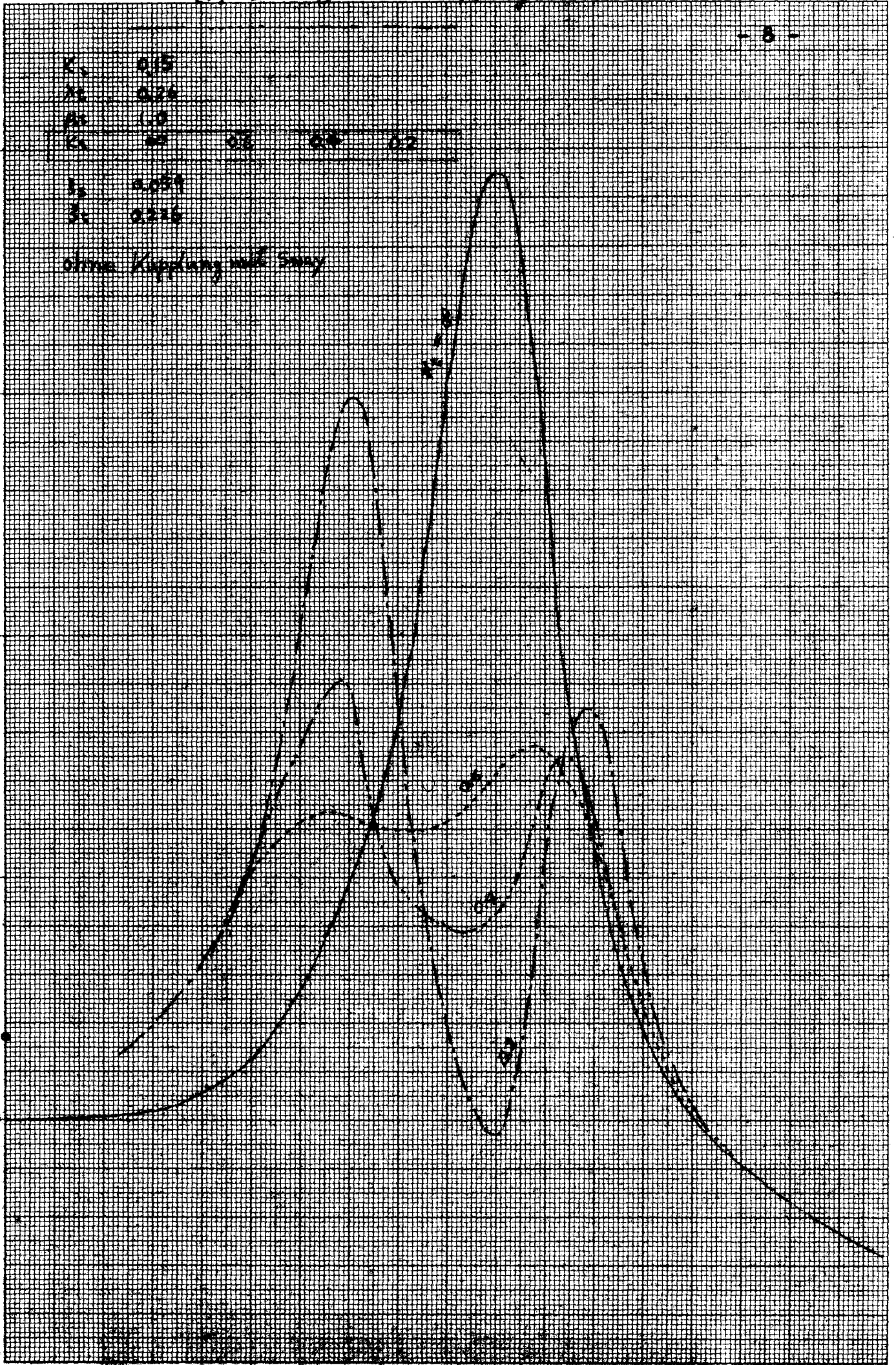
5.0

4.0

3.0

2.0

1.0



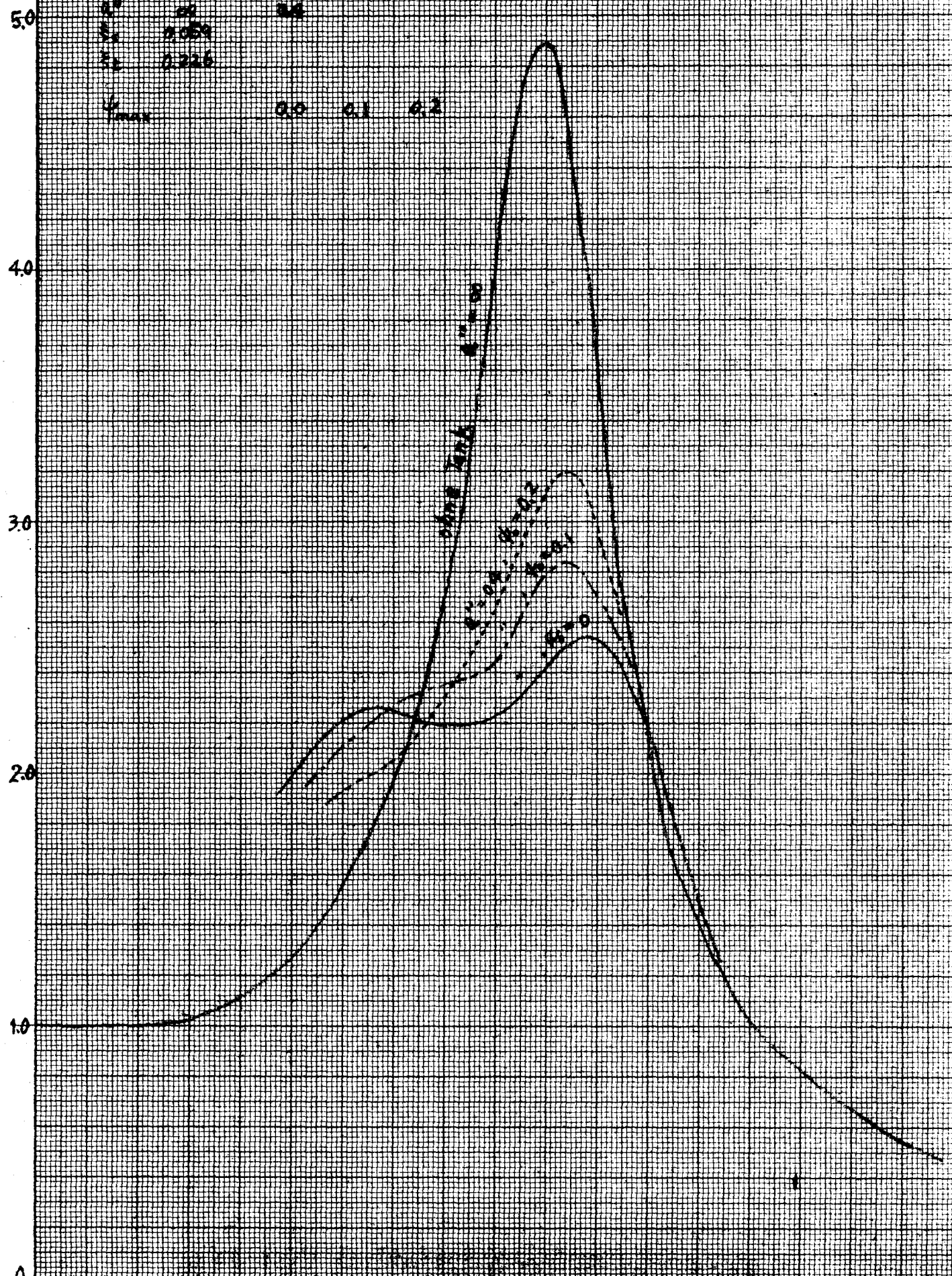
(2) Einfluss der nicht linearen Dämpfung

φ_0/φ_0

- 9 -

μ_0 0.15
 λ_1 0.25
 μ_1 1.0
 K_1 0.5 - 0.75
 σ_1 0.0
 ξ_1 0.05
 ξ_2 0.226

φ_{max} 0.0 0.1 0.2



(3) Einfluss der Eigenfrequenz des Wasser im Tank

φ_0/φ

| | | | |
|---------|-------|-------|-------|
| μ_0 | 0.15 | | |
| μ_1 | 0.25 | | |
| μ_2 | 1.5 | 1.0 | 0.8 |
| μ_3 | 0.2 | | |
| μ_4 | 0.05 | | |
| μ_5 | 0.025 | 0.025 | 0.025 |
| μ_6 | 0.5 | | |

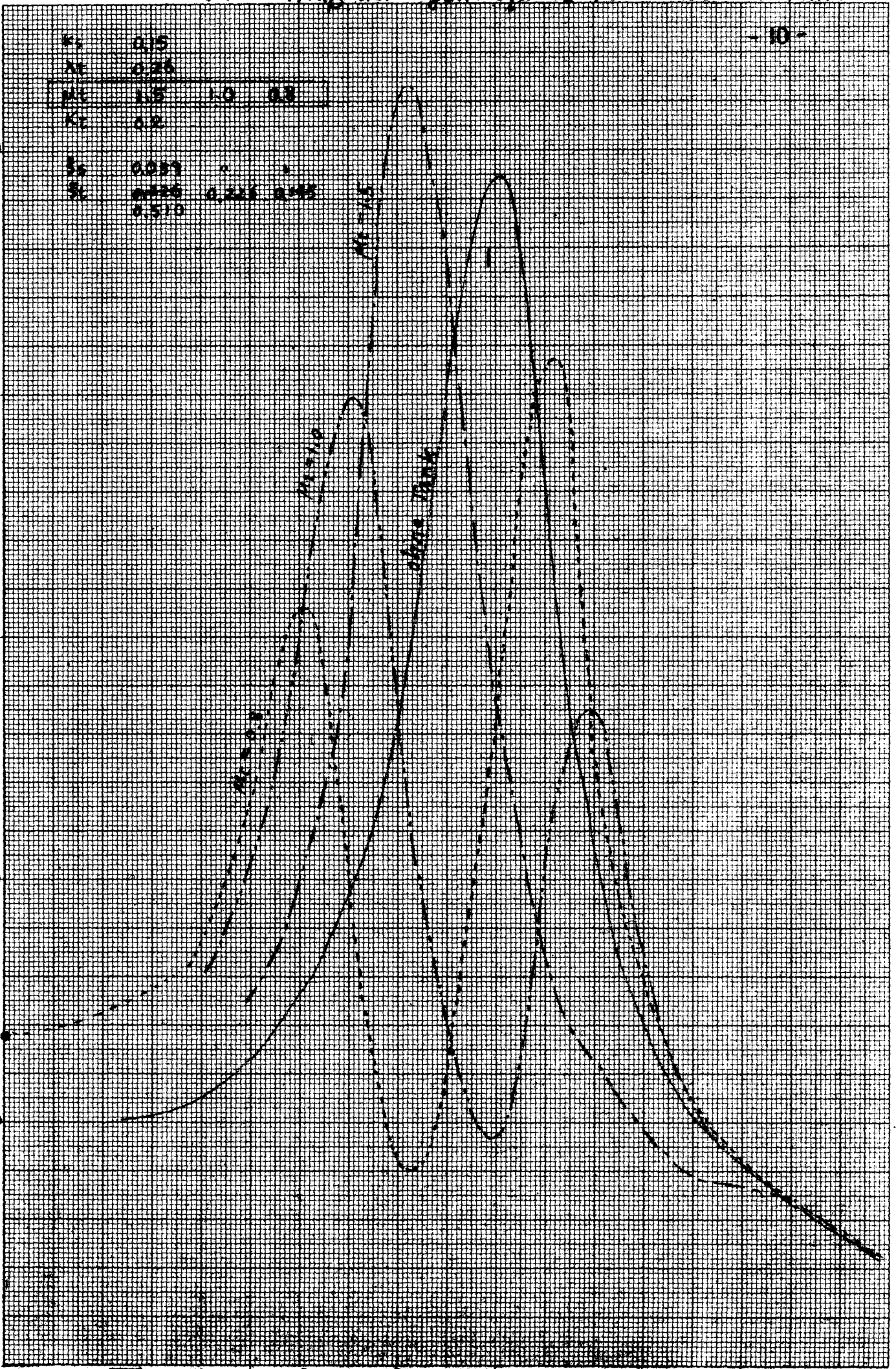
5.0

4.0

3.0

2.0

1.0



(4) Einfluss des K_t

$\frac{\varphi}{\varphi_0}$

| | | |
|-----------|-------|------|
| K_0 | 0.15 | " |
| K_1 | 0.32 | " |
| K_2 | 0.50 | " |
| K_3 | 0.70 | 0.60 |
| β_1 | 0.57 | " |
| β_2 | 0.133 | " |

5.0

4.0

3.0

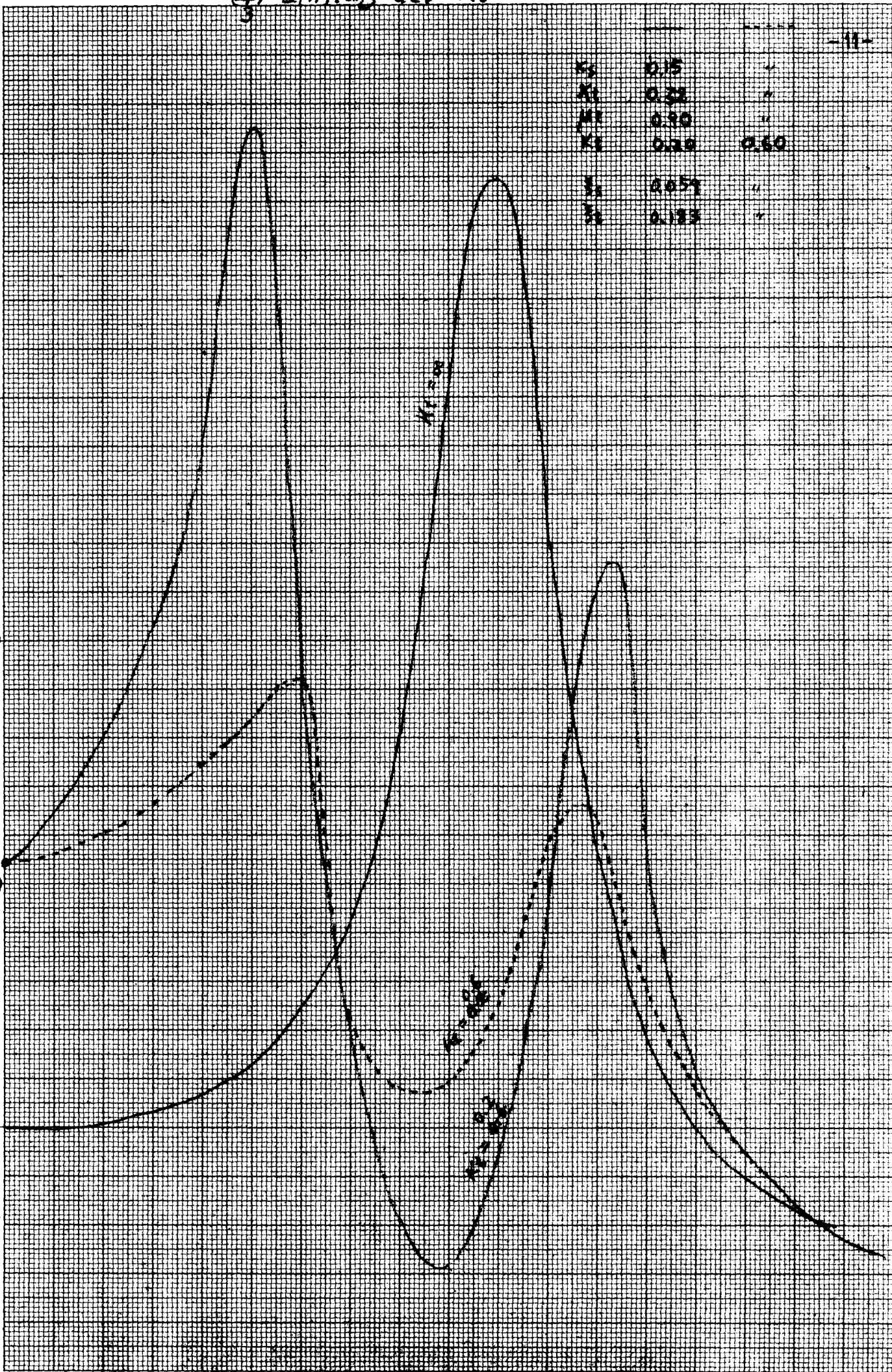
2.0

1.0

$K_t = 0.8$

$K_t = 0.6$

$K_t = 0.4$



(5) Einfluss des K_t

| | | | | |
|-----------|-------|-------|-----|---|
| K_1 | 0.15 | ohne | | |
| K_2 | 0.30 | Kont. | | |
| K_3 | 1.00 | | | |
| K_4 | 0.1 | 0.2 | 1.0 | ∞ |
| β_1 | 0.009 | | | |
| β_2 | 0.226 | | | |

$\varphi_{\text{eff}}/\varphi$

5.0

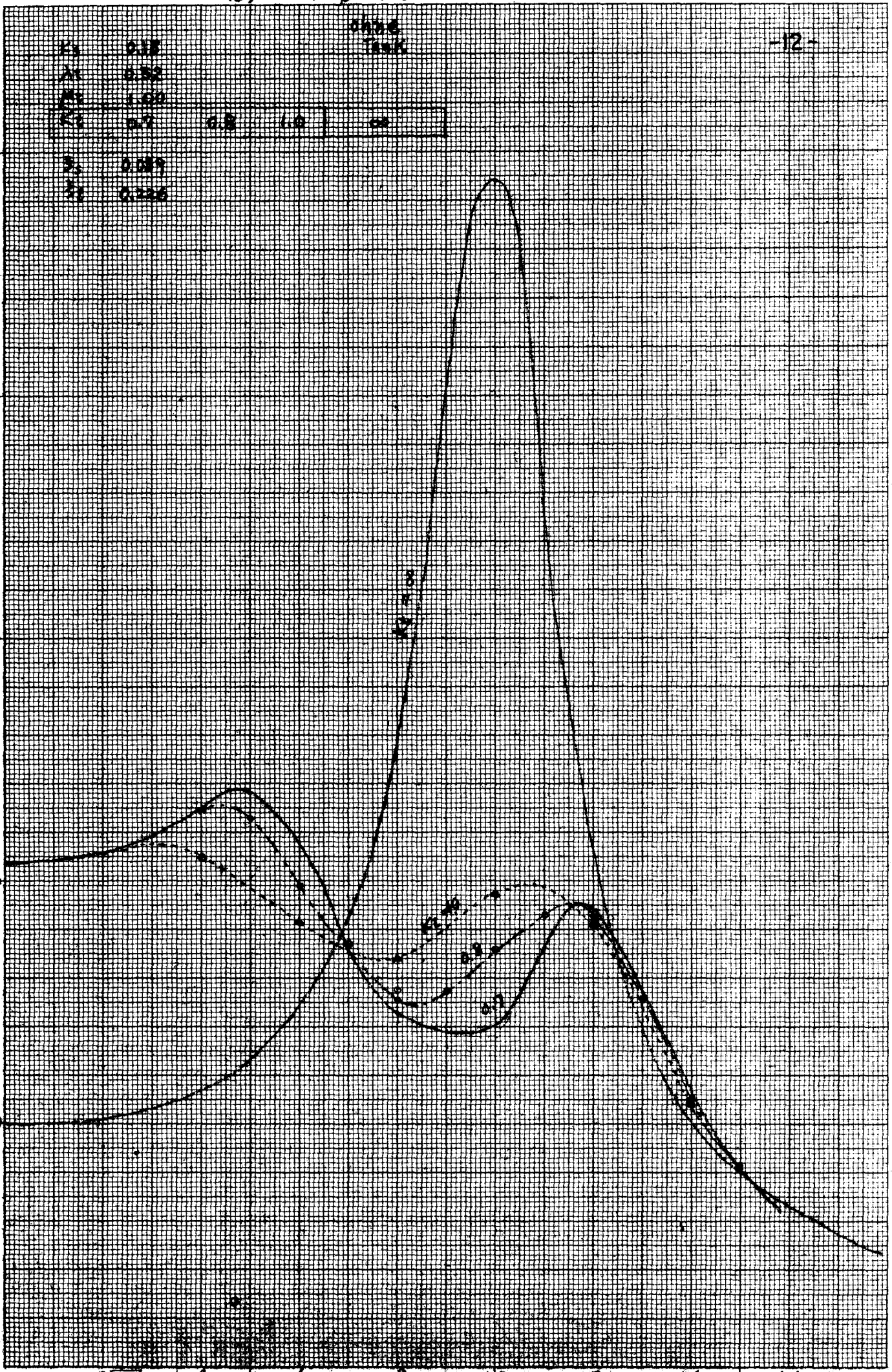
4.0

3.0

2.0

1.0

0



(5) Einfluss der nicht linearen Dämpfung des Wassers

$\frac{Q}{Q_0}$

5.0

4.0

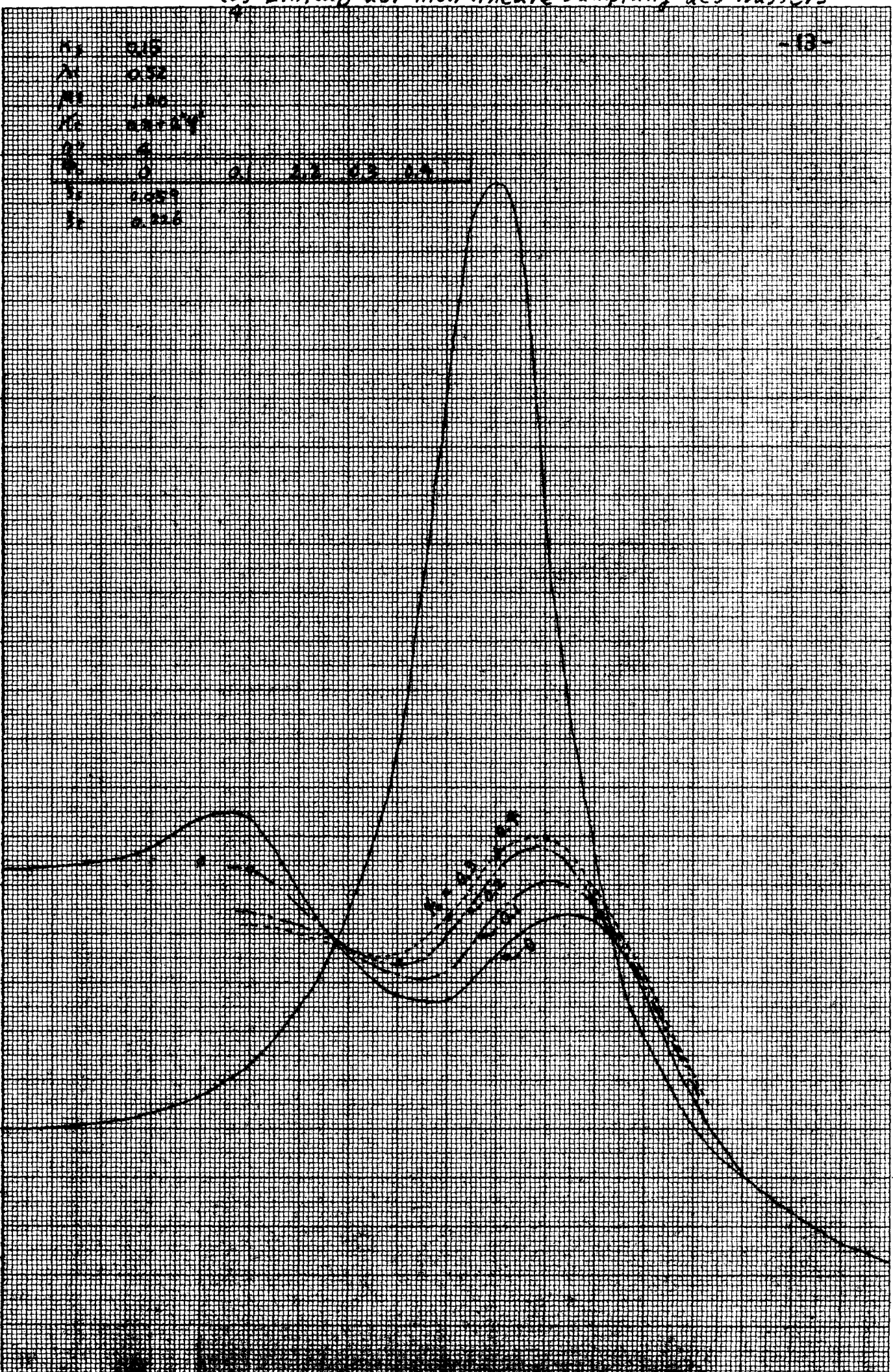
3.0

2.0

1.0

| | |
|----------|-----------|
| η_1 | 0.15 |
| η_2 | 0.32 |
| η_3 | 1.00 |
| η_4 | 2.27-2.29 |
| η_5 | 5 |
| η_6 | 0 |
| η_7 | 0.009 |
| η_8 | 0.006 |

0.1 0.3 0.3 0.4



2. Einfluß der Tanklage bezüglich des Schwerpunkts des Schiffes.

Es ist bemerkenswert, daß die Koeffizienten ξ_s und ξ_t kleiner und sogar negativ werden, wenn der Tank höher angeordnet wird, weil diese beiden Koeffizienten von T_t und H_t abhängen und H_t negativ ist, wenn der Tank oberhalb des Schwerpunktes liegt.

Bild 6 zeigt die Rollbewegung des Schiffes mit so hoch angeordnetem Tank, daß ξ_s und ξ_t negativ sind. Der Vergleich dieses Bildes mit dem Bild 3a läßt uns erkennen, daß die höhere Tanklage wirksamer ist. Schon von Chadwick und Klotter wird erwähnt, daß der Schlingertank für imaginäre μ_{st} bei angewandten Beispielen besonders wirksam wird. Dem imaginären μ_{st} in [1] entsprechen negative ξ_s und ξ_t in den Bewegungsgleichungen (3).

Auch Gerritsma hat gezeigt, daß das von ihm gemessene Anti-Schlingermoment größer ist, wenn der Tank höher eingerichtet worden ist. [3].

(7) Einfluß der Tankstelle und At

0/4

| | |
|-------|------|
| K_1 | 0.10 |
| K_2 | 0.2 |
| K_3 | 0 |
| K_4 | 0.6 |
| K_5 | 0.05 |
| K_6 | 0.05 |

| | | |
|-----|-----|-----|
| 0.4 | 0.6 | 0.8 |
| 1.0 | 1.0 | 1.0 |

Zeit
Tage

5.0

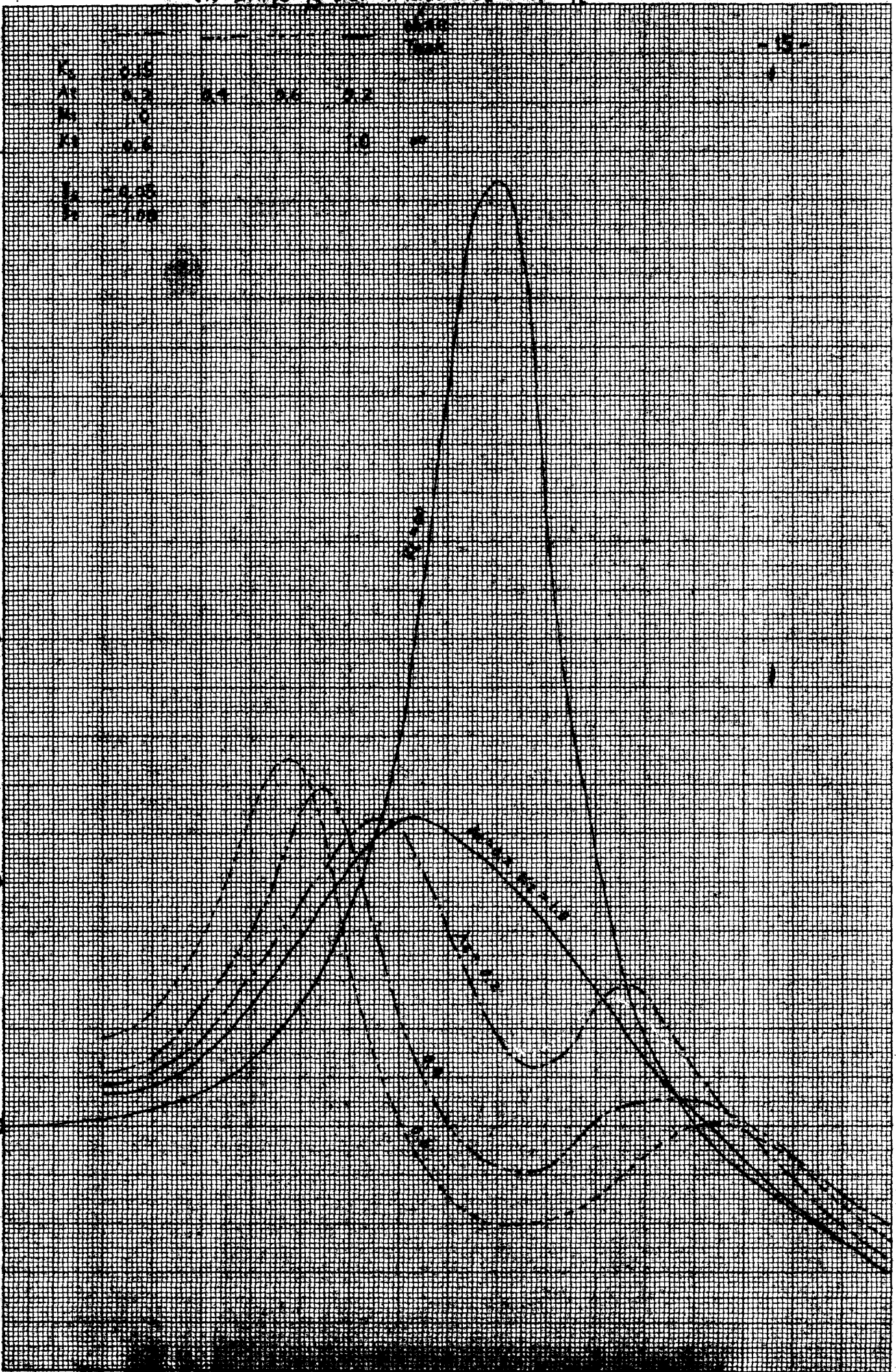
4.0

3.0

2.0

1.0

0



B. 11 1

3. Einfluß der Kopplung der Querbewegung.

Die Kopplung zwischen der Querbewegung und der Bewegung des Tankwassers ist schon von Chadwick und Klotter behandelt worden. [1].

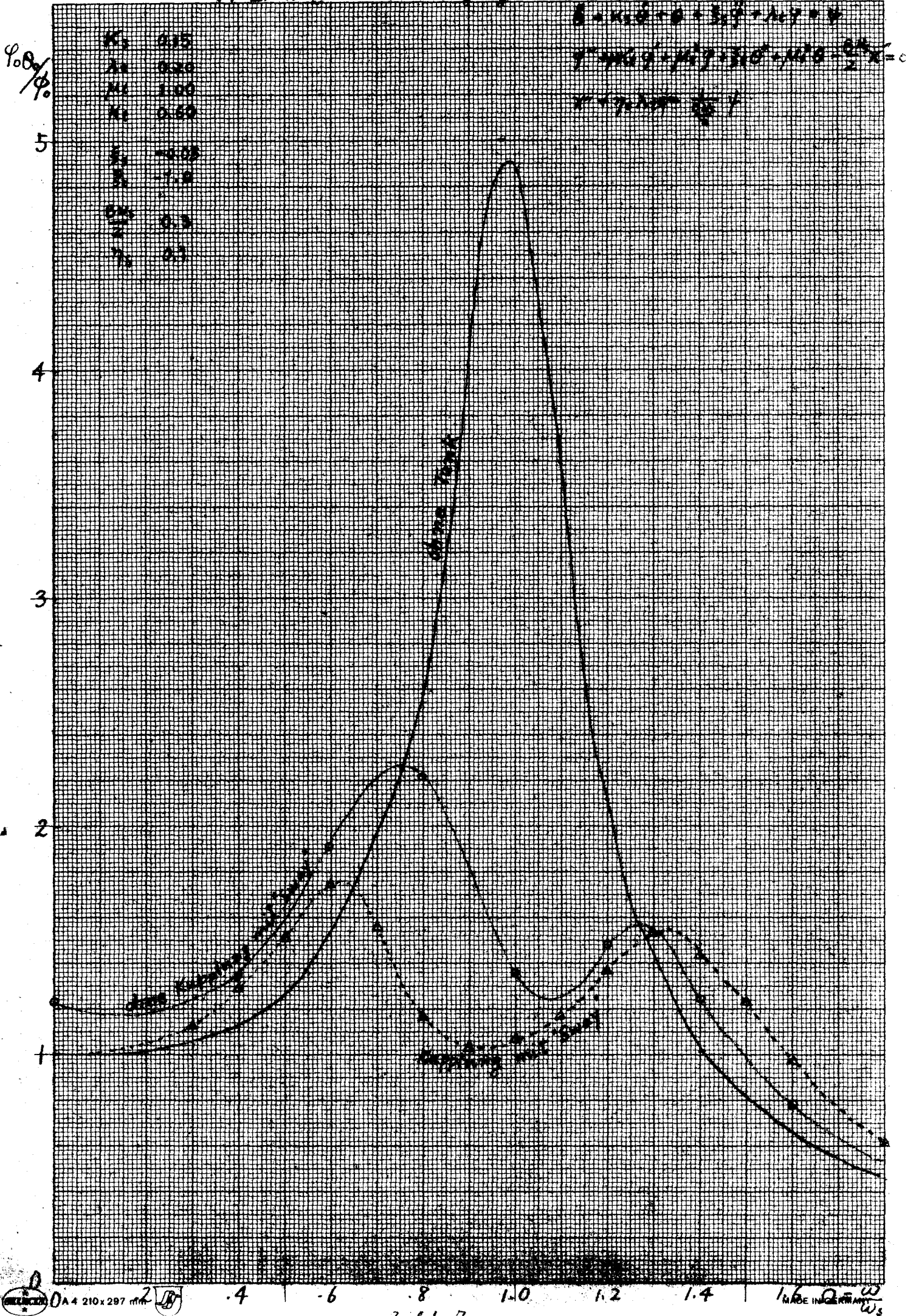
Die Bewegungsgleichungen sind:

$$\varphi'' + K_s \varphi' + \varphi + \xi_s \psi'' + \lambda_t \psi = \phi$$

$$\psi'' + \mu_t K_t \psi' + \mu_t^2 \psi + \xi_t \varphi'' + \mu_t^2 \varphi - \frac{B_o \nu_s}{2} \cdot \eta'' = 0 \quad (6)$$

$$\eta'' + \eta_s \lambda_t \psi'' = \frac{2}{B_o \nu_s} \phi$$

Bild 7 zeigt den Einfluß der Kopplung der Querbewegung bei den negativen ξ_s und ξ_t , daß die Rollbewegung in dem kleineren Frequenzbereich kleiner wird und in dem größeren Frequenzbereich größer wird.



Zunächst untersucht worden ist der Einfluß der Tanklage sowie der dem Tankwasser bezüglichen Koeffizienten für einen zweidimensionalen Schiffskörper, dessen Querschnitt eine Lewisform ($H = 1.2$, $\beta = 0.9$) ist. Die hydrodynamischen Koeffizienten der Lewisform für die Roll- und Querbewegung sind ausreichermaßen gerechnet vorhanden. $\lambda_t = 0.25$ ist angenommen worden. Die Bewegungsgleichungen (1) wurden gerechnet.

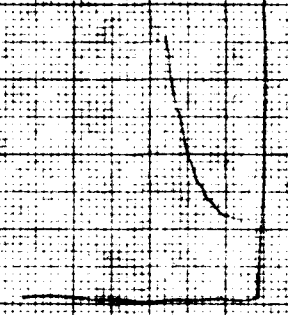
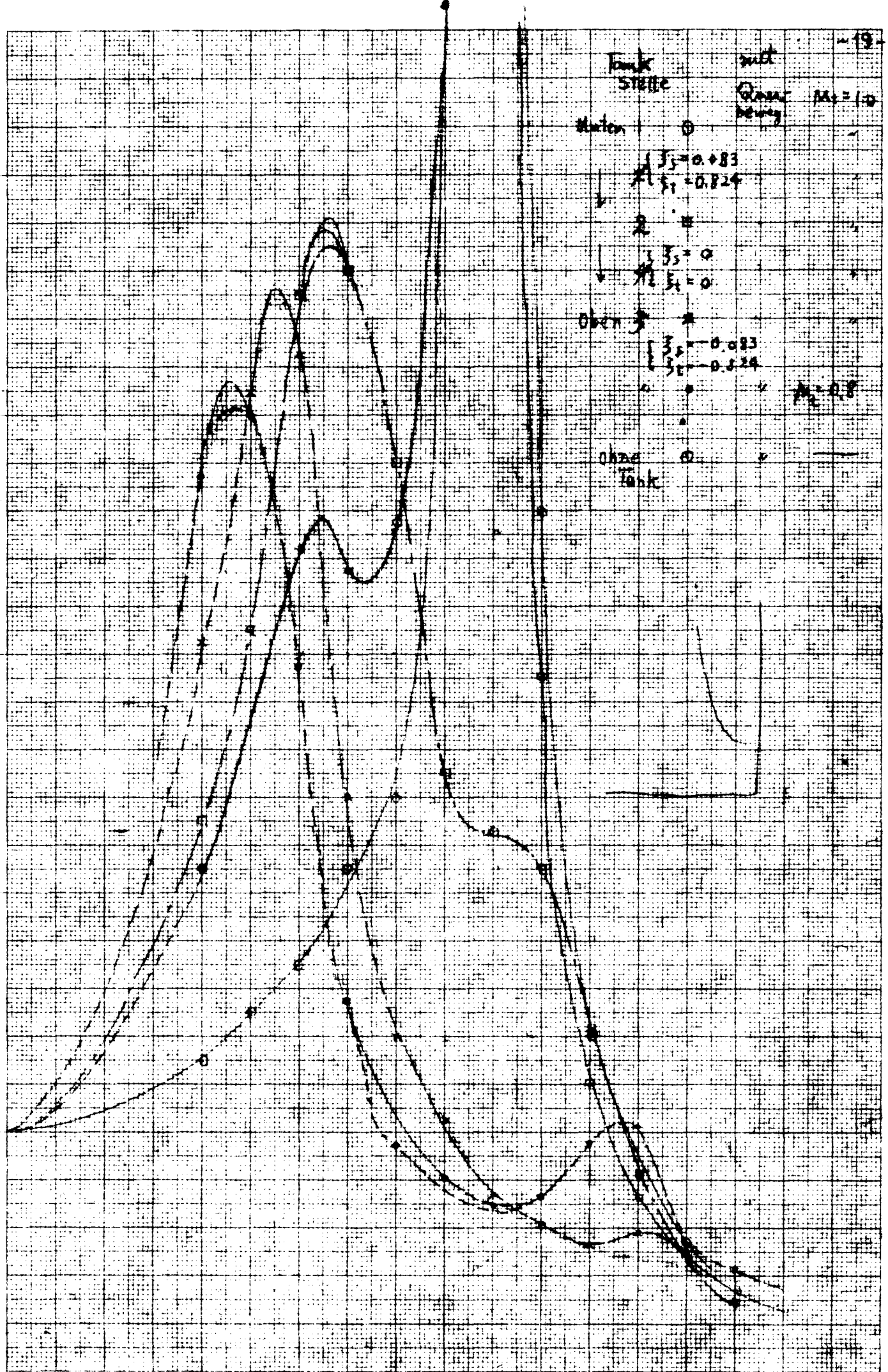
Bild 8 zeigt die Rollamplitude für drei verschiedene Tanklage, wobei man erkennen kann, daß die oberste Tankstelle am günstigsten wäre. Bild 9a, 9b, 10 und 11 zeigen die Einflüsse der Dämpfung des Tankwassers, die Einflüsse der Eigenfrequenz des Tankwassers und die Einflüsse der Dämpfung des Schiffskörpers entsprechend.

Der Vergleich der Rechenergebnisse zwischen den (Fig.3-7) und (Fig.8-11) läßt uns erkennen, daß die optimale Wahl der Tankparameter wesentlich von der Schiffsförm abhängt.

ρ_0/ϕ_0

Tank Stelle mit
 Oberberg $M_0 = 1.0$
 1 \downarrow $\begin{cases} \beta_3 = 0.083 \\ \beta_1 = 0.024 \end{cases}$
 2 \downarrow $\begin{cases} \beta_3 = 0 \\ \beta_1 = 0 \end{cases}$
 Ober 3 \downarrow $\begin{cases} \beta_3 = 0.083 \\ \beta_1 = 0.024 \end{cases}$ $M_0 = 0.8$
 4 \downarrow $\begin{cases} \beta_3 = 0 \\ \beta_1 = 0 \end{cases}$
 Tank

5
4
3
2
1



Einfluss der Dämpfung des Tankwassers

φ
 φ_0/φ

| | |
|---------|-----------------|
| x_2 | 0 |
| x_1 | 0.25 |
| x_3 | 1.0 |
| k_1 | 0.6 1.0 1.4 1.5 |
| ξ_1 | -0.0218 |
| ξ_2 | -0.824 |

5.0

4.0

3.0

2.0

1.0

0

.4

.6

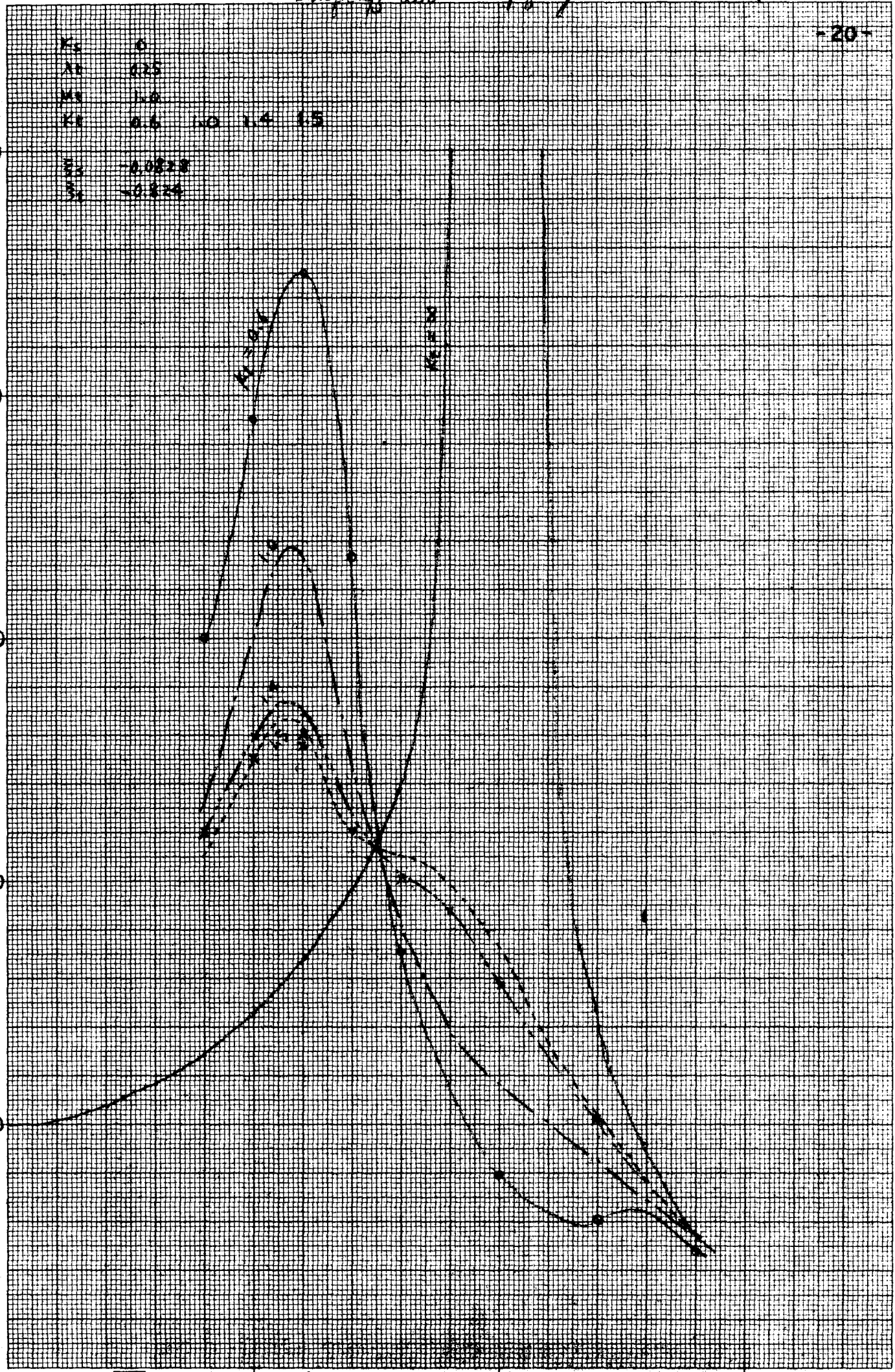
.8

1.0

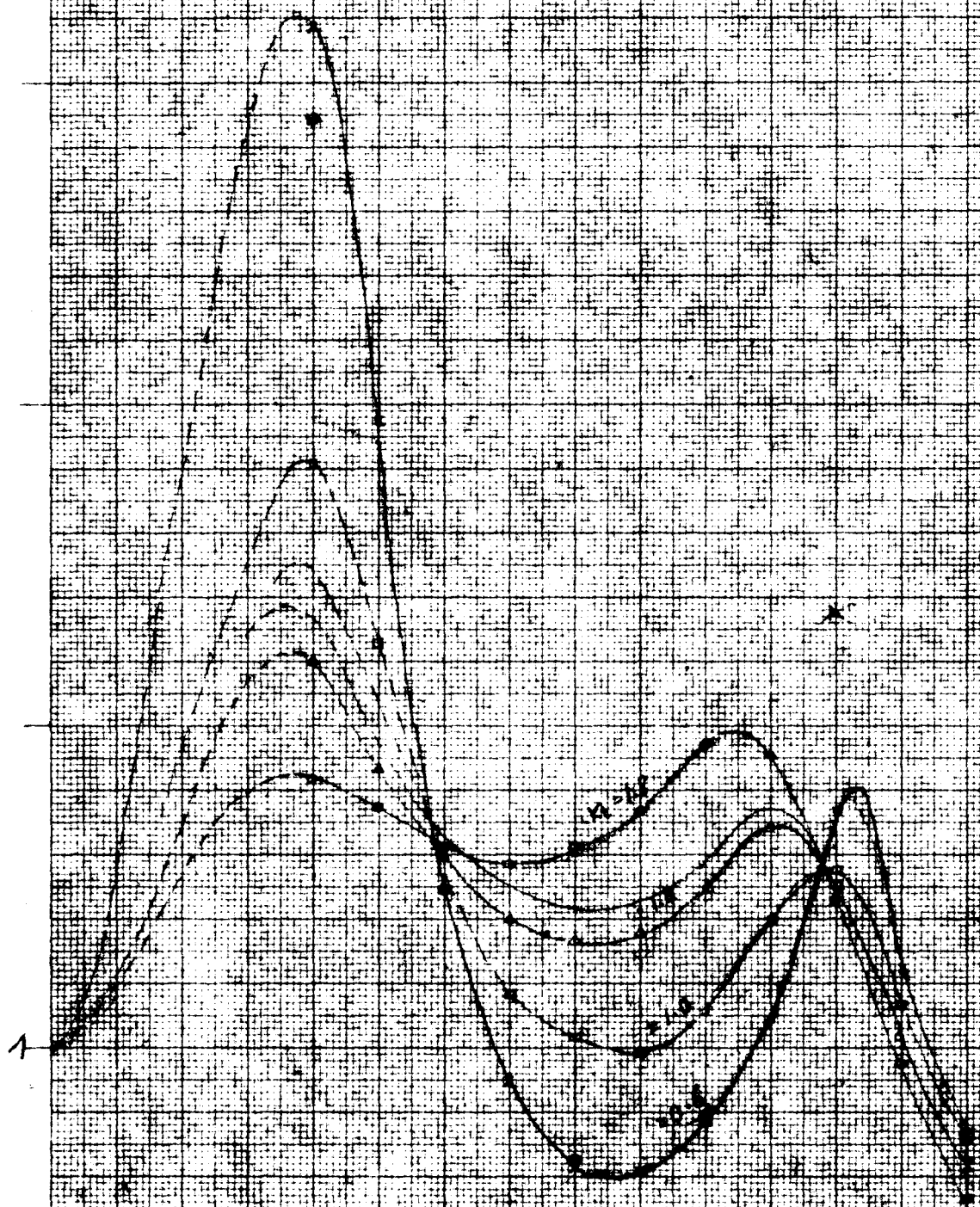
1.2

1.4

MADE IN GERMANY Ω



$\xi = 0$
 $\lambda = 0.25$
 $\mu = 0.6$
 $\kappa = 0.6 \quad 1.0 \quad 1.4 \quad 1.8$
 $\beta_1 = -4.0828$
 $\beta_2 = -0.8294$



Einfluss der Eigenfrequenz des Tankwassers

φ_0/φ_0

| | | | | |
|-------|---------|-----|-----|-----|
| K_1 | 0.0 | | | |
| K_2 | 0.25 | | | |
| K_3 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 |
| K_4 | 1.5 | | | |
| S_1 | -0.0018 | | | |
| S_2 | -0.004 | | | |

5.0

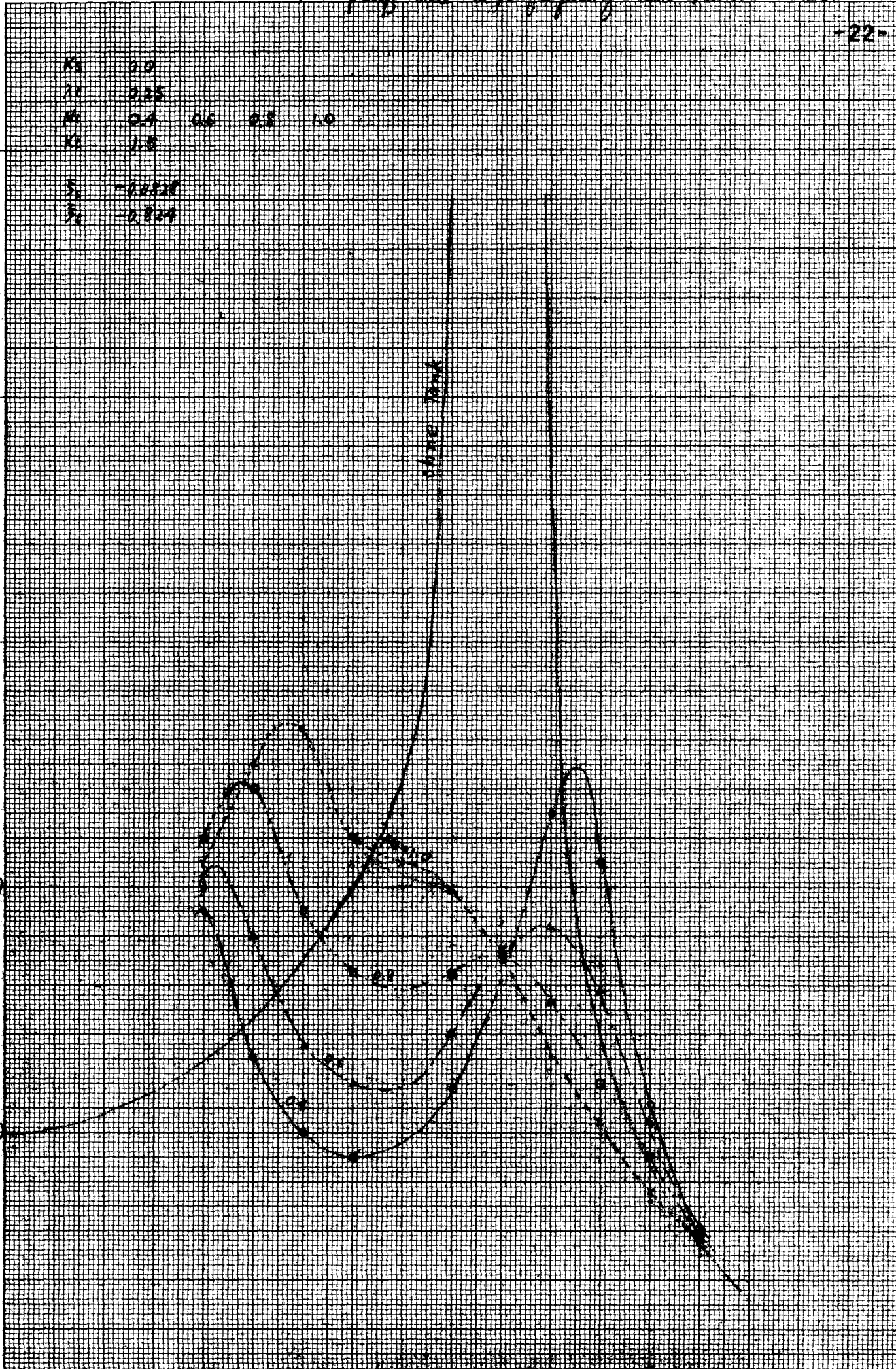
4.0

3.0

2.0

1.0

ohne Tank

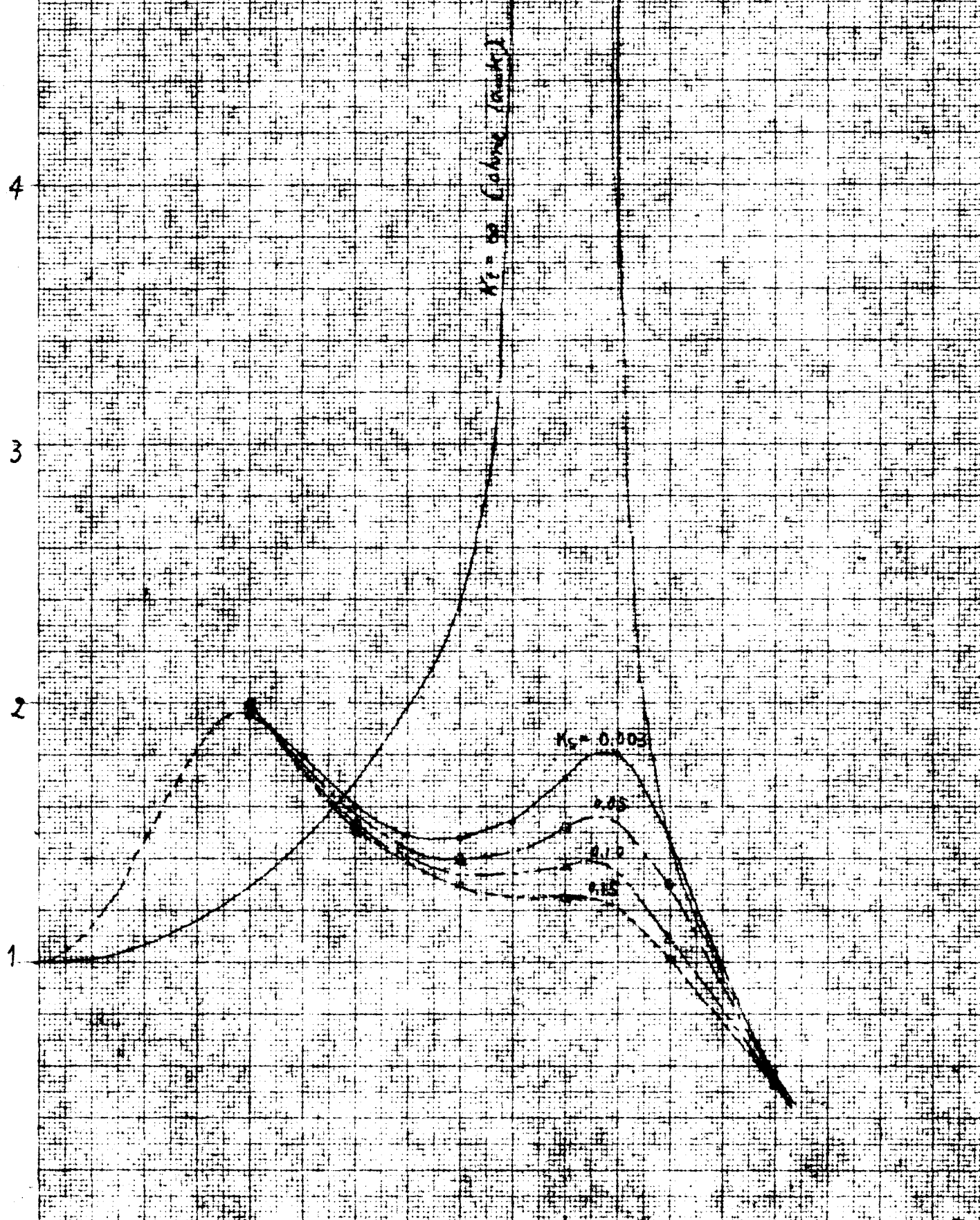


Einfluss der Dämpfung des Schiffskörpers

r 23

φ/φ_0

| | | | | |
|------------|---------|------|------|------|
| K_2 | 0,003 | 0,05 | 0,10 | 0,15 |
| γ_0 | 0,25 | | | |
| γ_1 | 0,6 | | | |
| K_1 | 1,6 | | | |
| β_1 | -0,0003 | | | |
| β_2 | -0,029 | | | |



Schließlich ist der Einfluß des Kurswinkels des Schiffes gegen die Welle untersucht worden. Dazu wurde eine mathematische Schiffsform gewählt, deren hydrodynamische Koeffizienten als Funktion des Kurswinkels berechnet worden sind. [4].

Als Koeffizienten der Bewegung des Tankwassers sind in die Berechnung die folgenden Werte eingesetzt worden.

| λ_t | μ_t | K_t | ξ_s | ξ_t |
|-------------|---------|-------|---------|---------|
| 0.25 | 1.0 | 0,5 | -0.08 | -0.8 |

Diese Werte haben sich bei vorausgegangenen Rechnungen mit dem Analogrechner als die günstigeren Werte für das Schiff in den querlaufenden Wellen erwiesen.

Die Rechnungen sind in diesem Fall mit dem Digitalrechner durchgeführt worden. Die Rechenergebnisse zeigt Bild 12, aus dem eine Vergrößerung der Rollamplitude in einem gewissen Frequenzbereich für schräglaufende Wellen abzulesen ist.

Da das Verhältnis der durch die Wellen erregten Querkraft zu dem erregten Moment und ebenso die Phasenverschiebung zwischen Querkraft und Moment von sehr vielen Parametern abhängt und insbesondere von dem Kurswinkel abhängt, kann nicht erwartet werden, daß die Wirkung des passiven Schlingertanks in allen Fällen gleich gut ist. Es ist durchaus denkbar, daß z.B. die Wirkung bei querlaufenden Wellen gut, bei schräglaufenden Wellen jedoch wesentlich schlechter ist. Ein umfassendes Urteil über die Wirkung des Schlingertanks ist nur möglich, wenn sehr umfassende Untersuchungen für die verschiedenen möglichen Betriebsumstände ausgeführt werden.

Schrifttum

- [1] Chadwick, I.H. and K.Klotter: On the Dynamis of Anti-rolling Tanks. Schiffstechnik, 8.Heft, 2. Band, Febr. 1955.

- [2] Grim, O.: Die Schwingungen von schwimmenden zwei-dimensionalen Körpern. HSVA-Bericht Nr. 1090, Nr. 1117.

- [3] van den Boech, J.J. and J.H. Vugts: Some Notes on the Performance of Free Surface Tanks as Passive Anti-rolling Devices. Netherland Shipbuilding Laboratory, Report No.119, 1964.

- [4] Grim, O.: und Y. Takaishi: Das Rollmoment in schräglaufer Welle. Institut für Schiffbau der Universität Hamburg, Bericht Nr. 148.