

Blatt für den Hauptbericht

VEB Kombinat Schiffbau
R o s t o c k
Abteilung EEM

F/E-Thema: Untersuchung des Eigen- und Zwangsschwingungsverhaltens von Schiffskonstruktionen

Bericht 8: Programminformation VERPEM

Name und Anschrift
der F/E-Stelle:

VEB Kombinat Schiffbau
- Stammbetrieb -
Direktorat E
2500 Rostock 1
Doberaner Str. 110/111

Für die Gesamtarbeit
verantwortlicher wiss.-
techn. Bearbeiter:

Dr. Schmits

Verantwortlicher
Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Ahrens

Beginn der Arbeit:

2/83

Abschluß der Arbeit:

12/83

Der Bericht besteht aus:

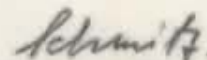
23 Seiten
8 Formblättern

Anzahl der angefertigten
Exemplare:

Nummer dieses Exemplares:



Dr. Dallach
Hauptabteilungsleiter EE



Dr. Schmits
Verantw. wiss.-techn.
Bearbeiter

Programm zur Berechnung der Vertikalschwingungen
und ungekoppelten Horizontalschwingungen des
Schiffskörpers auf Grundlage des Timoshenkobalkens
bei mitschwingender hydrodynamischer Masse

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeine Angaben zum Programm VERFEM
2. Programmbeschreibung
 - 2.1. Bestimmung der hydrodynamischen Massenmatrix
 - 2.2. Bestimmung der Steifigkeitsmatrix, der Massenmatrix und der Dämpfungsmatrix des Schiffskörpers
 - 2.3. Programmspeichergrenzen
3. Datenflußplan
4. Datenträgeraufbau
 - 4.1. Datenkarten
 - 4.2. Zwischenspeicher Datenkarten
 - 4.3. Massenmatrix
 - 4.4. Drucklisten
5. Programmstruktur
6. Jobsteuerkarten
7. Literaturverzeichnis
8. Berechnungsbeispiele

Anlage: Dateneingabeformulare

Reduktionsfaktoren für Biegesteifigkeit

1. Allgemeine Angaben zum Programm VERFEM

Das Programm VERFEM berechnet die Vertikalschwingungen und ungekoppelten Horizontalschwingungen des Schiffskörpers bis zum V. Schwingungsgrad auf der Grundlage des Timoshenkobalkens bei mitschwingender hydrodynamischer Masse. Zusätzlich können harmonische stationäre Zwangsschwingungen berechnet werden. Die Berechnungen erfolgen mit Hilfe der finite Elementemethode bei der Modellierung des Flüssigkeitsgebietes und des Schiffsbalkens.

Das Programm wurde im CTO Gdansk (VR Polen) entwickelt.

Die Programmiersprache ist FORTRAN IV. Das Programm arbeitet mit einfacher Genauigkeit.

Für die Anwendung auf der elektronischen Rechenanlage wird folgende Konfiguration vorausgesetzt:

Hauptspeicher mit 450 K Byte

1 Drucker

1 Lochkartenleser (Dateneingabe)

Arbeitsplattenspeicher

2. Programmbeschreibung

Die Programmberechnungen umfassen die Bestimmung der mitschwingenden hydrodynamischen Massen, die Eigenschwingungen (vertikal und horizontal) und die Zwangsschwingungen des Schiffskörpers, der als Timoshenkobalken idealisiert wird. Das Flüssigkeitsgebiet wird mit räumlichen finiten Elementen erfaßt. Die mitschwingenden Flüssigkeitsmassen werden unter Berücksichtigung der Bewegungen des Wassers, die durch die Schwingungen des Schiffskörpers hervorgerufen werden, als hydrodynamische Massenmatrix M_H berechnet.

Durch die räumliche Betrachtungsweise des Flüssigkeitsgebietes entfällt die Einführung von Reduktionsfaktoren für die hydrodynamische Masse (z. B. von Kruppa, Kumai, Townsin u. a.) in Abhängigkeit von der Form der Schwingungen.

Das Eigenschwingungsverhalten wird berechnet auf der Grundlage der folgenden Matrizengleichung:

$$K_s \{x\} = \lambda (M_s + M_H) \{u\} , \quad (2.1)$$

während die komplexen Amplituden der erzwungenen Schwingungen sich aus folgendem Gleichungssystem ergeben:

$$[-\omega^2 (M_s + M_H) + iC + K_s] \{u\} = \{F\} \quad (2.2)$$

- mit K_S - Steifigkeitsmatrix des Schiffskörpers
 M_S - Matrix der Schiffsmassen und der Ladung
 M_H - hydrodynamische Massenmatrix
 C - Dämpfungsmatrix
 $\{u\}$ - Amplitudenvektor der komplexen Verschiebung
 $\{F\}$ - Vektor der Erregerkräfte und -momente
 ω - Frequenz
 $\lambda = \omega^2$
 $t = \sqrt{-1}$

Auf der Grundlage der aus den Konstruktionszeichnungen berechneten Biege- und Schubsteifigkeitsverteilungen des Schiffskörpers, der Schiffsmasse sowie des Massenträgheitsmomentes wird die Massen-, Dämpfungs- und Steifigkeitsmatrix generiert. Für die Biegesteifigkeit kann für die einzelnen Schwingungsgrade ein Reduktionsfaktor nach /2/ vorgegeben werden.

2.1. Bestimmung der hydrodynamischen Massenmatrix

Die Berechnungen erfolgen nach der Theorie von Orsero, Armand /3/.

Es werden folgende Voraussetzungen für die Flüssigkeit getroffen:

- das Wasser ist eine ideale Flüssigkeit (ohne Viskosität und inkompressibel),
- die Bewegung des Wassers ist ohne Wirbelbildung,
- der Einfluß der Oberflächenwellen kann in dem untersuchten Frequenzbereich der Schiffskörperschwingungen vernachlässigt werden,
- bei Schiffskörperschwingungen tritt eine dreidimensionale Umströmung des Schiffskörpers auf

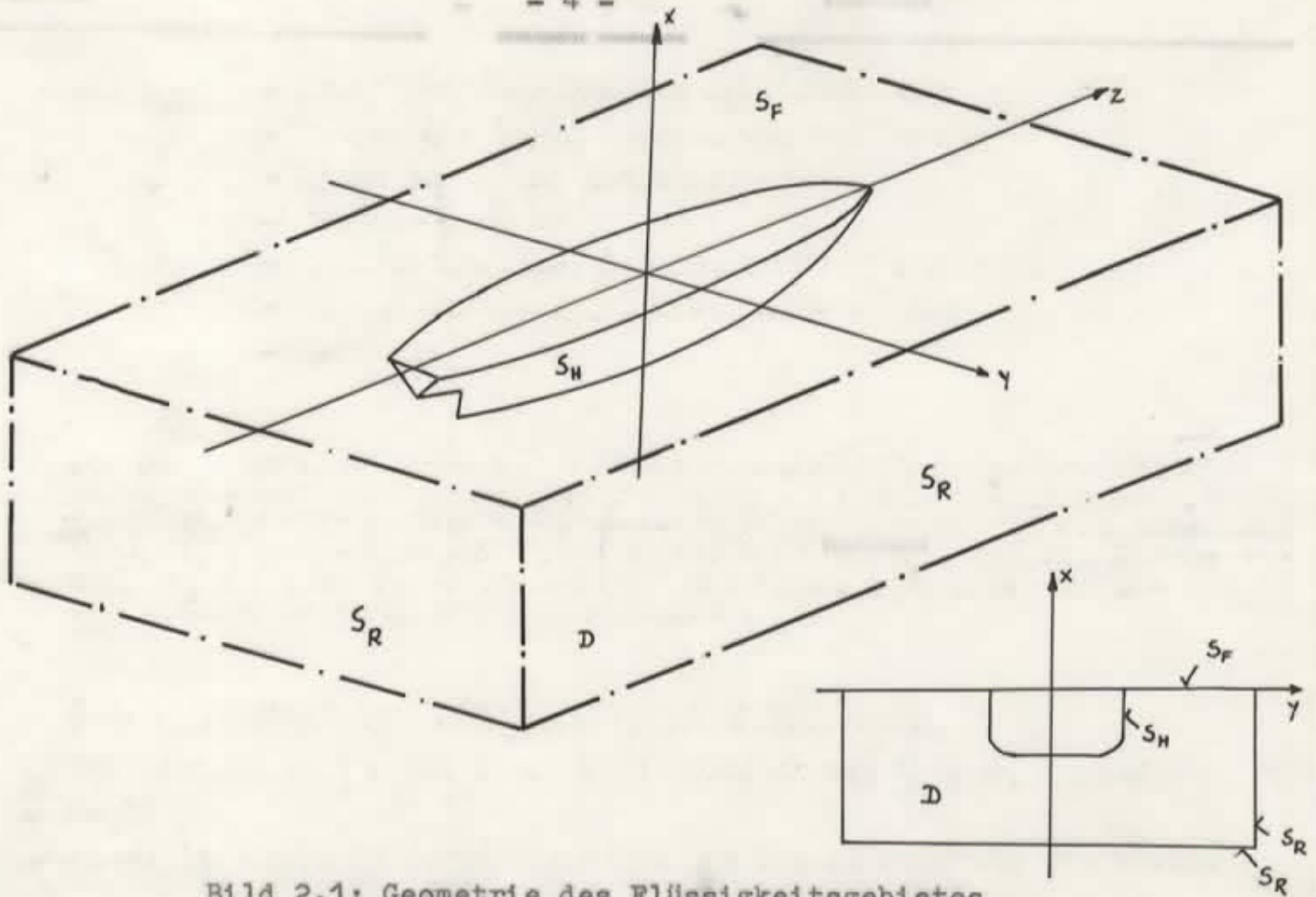


Bild 2.1: Geometrie des Flüssigkeitsgebietes

Aus der Bewegungsgleichung

$$-\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{1}{\rho_H} \nabla p \quad (2.3)$$

und der Kontinuitätsgleichung

$$\nabla V = 0$$

ergibt sich für das Gebiet D (Bild 2.1) die Laplacegleichung

$$\nabla^2 p = 0 \quad (2.4)$$

Für die Randgebiete gelten folgende Bedingungen:

auf S_H : $\frac{\partial p}{\partial n} = -\rho_H \frac{\partial V_n}{\partial t} = -\rho_H \ddot{u}_n$ (benetzte Fläche des Schiffskörpers) (2.5)

$p = 0$ auf S_F (freie Oberfläche) (2.6)

$\frac{\partial p}{\partial n} = 0$ auf S_R (Flüssigkeitsrand) (2.7)

- mit
- p - dynamischer Druck
 - $V = V(u, v, w)$ - Geschwindigkeitsvektor
 - ρ_H - Dichte des Wassers

Die Lösung der Laplace-Gleichung unter Berücksichtigung der Randbedingungen erfolgt mit Hilfe der Methode der finiten Elemente durch Annäherung des Druckfeldes der Flüssigkeit durch räumliche isoparametrische 20-Knoten-Elemente.

Die Druckverteilung der Flüssigkeit wird angenähert dargestellt durch

$$\hat{p}(x,y,z,t) = N^T(x,y,z) \cdot p(t) = \sum_{m=1}^M N_m(x,y,z) \cdot p_m(t) \quad (2.8)$$

mit N als Formfunktion für den Druck und p_m als generalisierte Druckkoordinaten.

Analoge Ansätze werden auch für die Knotenverschiebungen an der Grenzfläche vom Schiffskörper und Flüssigkeit angenommen.

Aus der Lösung von Gleichung (2.4) und der Randbedingung (2.5) bei der Anwendung der obigen Ansätze für die Druckverteilung und Knotenverschiebungen kann folgende Beziehung abgeleitet werden:

$$H \cdot \{p\} = S \{\ddot{u}\} \quad (2.9)$$

wobei für

$$S = -\rho_H L^T \quad \text{gilt.} \quad (2.10)$$

Damit kann der Druck an der Grenzfläche Konstruktion - Wasser in Abhängigkeit der Normalbeschleunigung der Elementknoten an dieser Grenzfläche dargestellt werden.

Durch Integration der Druckverteilung $\{p\}$ über die Berührungsfläche Konstruktion - Wasser ergibt sich eine äußere Kraft als Wirkung der Flüssigkeit, die bei der freien ungedämpften Schwingung berücksichtigt wird.

$$M_s \{\ddot{u}\} = K_s \{u\} - \{f\} \quad (2.11)$$

$$\text{mit } \{f\} = L \{p\} \quad (2.12)$$

Aus Gleichung (2.9) und (2.10) ergibt sich

$$\{f\} = -\rho_H L H^{-1} L^T \quad (2.13)$$

Die hydrodynamische Masse M_H in Gleichung (2.1) und (2.2) wird damit aus

$$M_H = \rho_H L H^{-1} L^T \quad (2.14)$$

ermittelt.

Die Matrizen L und H werden erhalten durch Integrationen der Formfunktionen über dem Flüssigkeitsgebiet D bzw. über der Berührungfläche S_H (Bild 2.1) für den Druck bzw. für die Konstruktionsverformung im Wasser.

Aus den Elementmatrizen [l] und [h] werden die Elemente der Gesamtmatrix durch Summation gebildet:

$$H_{ij} = \sum h_{ij} \quad (2.15)$$

$$L_{ij} = \sum l_{ij} \quad (2.16)$$

Entsprechend den Druck- und Verformungsansätzen in den Elementen

$$p = \sum_j N_j p_j \quad (2.17)$$

$$u = \sum_j M_j u_j \quad (2.18)$$

lassen sich die Elementmatrizen wie folgt berechnen:

$$h_{ij} = \iiint_D \left\{ \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial N_j}{\partial z} \right) \right\} dv \quad (2.19)$$

$$l_{ij} = \iint_{S_H} (M_i N_j) da \quad (2.20)$$

dv - Volumenelement der Flüssigkeit D

da - Flächenelement der Berührungfläche S_H
Struktur - Flüssigkeit

Im Programm VERFEM werden gleiche Formfunktionen für die Druckverteilung und für die Verformung ($M = N$) gewählt.

Für die Eckknoten der 20-Knotenelemente gilt:

$$N_i = \frac{1}{8} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (1 - \zeta_i \zeta) (\xi_i \xi + \eta_i \eta + 2) \quad (2.21)$$

Für die Mittelknoten gilt:

Knoten mit $\xi_i = 0$

$$N_i = \frac{1}{4} (1 - \xi^2) (1 + \eta_i \eta) (1 + \zeta_i \zeta) \quad (2.22)$$

Knoten mit $\eta_i = 0$

$$N_i = \frac{1}{4} (1 + \xi_i \xi) (1 - \eta^2) (1 + \zeta_i \zeta) \quad (2.23)$$

Knoten mit $\xi_i = 0$ $N_i = \frac{1}{4} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (1 - \zeta_i^2)$ (2.24)

ξ, η und ζ nehmen die Werte von -1 bis +1 an (Bild 2.2).

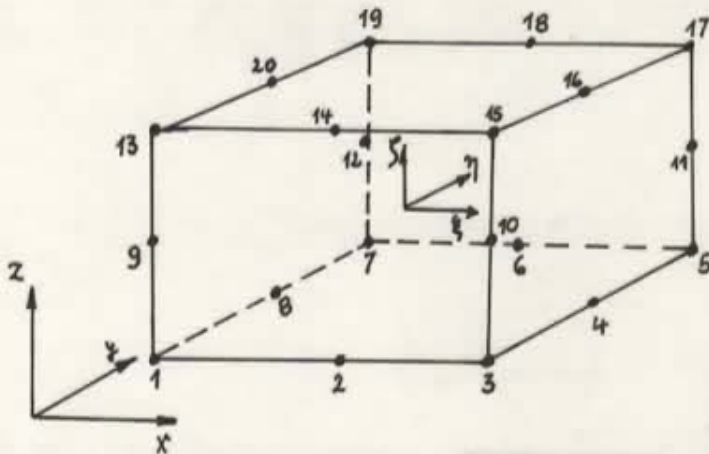


Bild 2.2: 20-knotiges isoparametrisches Element

Die Integration der Gleichungen (2.19) und (2.20) erfolgt numerisch mit 3 Stützstellen pro Integrationsrichtung innerhalb des Integrationsgebietes. Wird die Determinante der bei der Umwandlung von xyz-Koordinaten in $\xi\eta\zeta$ -Koordinaten entstehenden Jakobimatrix kleiner 10^{-10} , bricht das Programm mit der Rechnung ab.

Die nach den Gleichungen (2.19) und (2.15) berechnete Matrix H ist quadratisch und symmetrisch, wobei nur die untere Dreiecksmatrix von H einschließlich der Diagonalelemente abgespeichert wird.

Mit dieser Dreiecksmatrix wird im Programm VERFEM eine Choleskyzerlegung durchgeführt, so daß dann für die Matrix H gilt:

$$H = H_u \cdot H_o \quad (2.25)$$

H_o und H_u sind Dreiecksmatrizen, für die nach der Choleskyzerlegung gilt:

$$H_o = H_u^T \quad (2.26)$$

$$H = H_u \cdot H_u^T \quad (2.27)$$

Der Ausdruck für die inverse Matrix H^{-1} , wie sie in Gleichung (2.14) benötigt wird, ergibt sich aus:

$$H^{-1} = (H_U \cdot H_U^T)^{-1} = (H_U^T)^{-1} \cdot H_U^{-1} = (H_U^{-1})^T \cdot H_U^{-1} \quad (2.28)$$

Die hydrodynamische Massenmatrix in Gleichung (2.14) kann dann wie folgt formuliert werden:

$$M_H = S_H L H^{-1} L^T = S_H L (H_U^{-1})^T \cdot H_U^{-1} L^T \quad (2.29)$$

In dem Ausdruck $H_U^{-1} L^T$ verbirgt sich die Lösung eines Gleichungssystems $H_U X^T = L^T$

Da H_U eine Dreiecksmatrix ist, ergibt sich die Matrix X spaltenweise aus der Rückrechnung von H_U und der entsprechenden Spalte von L^T .

Die Dimensionen der verwendeten Matrizen sind

$$H = H_{NNOD, NNOD}$$

$$L^T = L_{NNOD, NV}^T$$

$$X^T = X_{NNOD, NV}$$

mit NNOD - Knotenzahl der Flüssigkeitselemente

NV - Knotenzahl des Schiffskörpers

Mit der Lösung von X^T ergibt sich

$$M_H = S_H X \cdot X^T \quad (2.30)$$

denn

$$X^T = H_U^{-1} L^T \quad (2.31)$$

$$X = (X^T)^T = (H_U^{-1} L^T)^T \quad (2.32)$$

$$X = L (H_U^{-1})^T \quad (2.33)$$

Die hydrodynamische Massenmatrix M_H hat damit die Dimension NV, NV (entspricht Knotenzahl des Schiffskörpers).

2.2. Bestimmung der Steifigkeitsmatrix, der Massenmatrix und der Dämpfungsmatrix des Schiffskörpers

Der nichtprismatische Balken als Schiffskörper mit der Randbedingung frei-frei wird in finite Elemente eingeteilt, wobei die veränderliche Verteilung der Biegesteifigkeit, Schubsteifigkeit, Masse und Massenträgheitsmomente über das Schiff stückweise konstant für ein Element sein kann (Bild 2.3). Die Knotenkoordinaten müssen mit den K-Ebenen des Flüssigkeitsgebietes übereinstimmen.

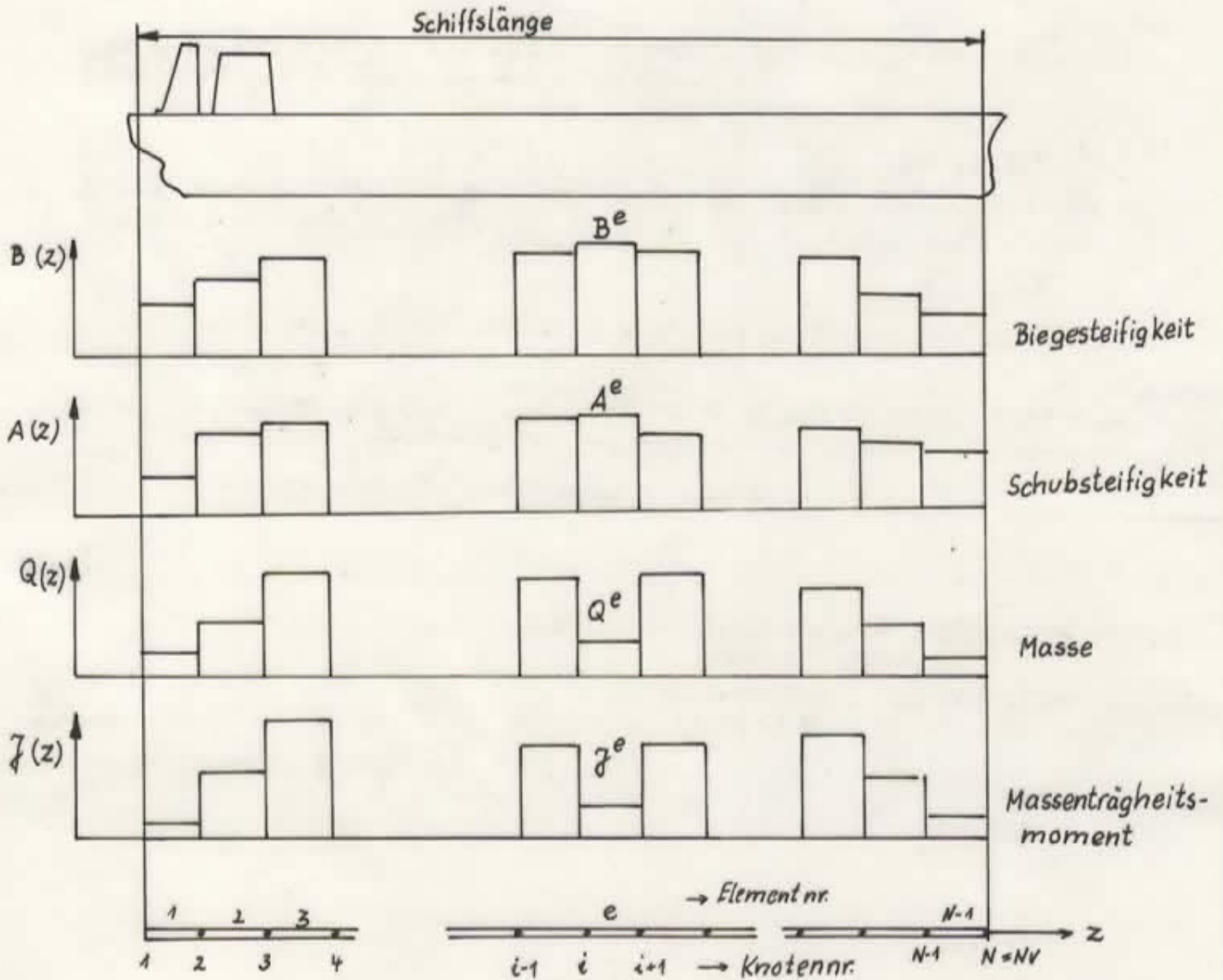


Bild 23: Idealisierung des Schiffskörpers

Bei einem Ansatz für die Verschiebung mit Polynomen 3. Grades und für die Verdrehung mit Polynomen 1. Grades werden im Programm VERFEM aus folgenden Elementmatrizen die Gesamtmatrizen K_S und M_S für Gleichung 2.1 gebildet.

Elementsteifigkeitsmatrix:

$$k^e = \frac{B^e}{l^e(1+\alpha^e)}$$

$$\begin{bmatrix} 12/l^{e^2} & & & \\ 6/l^e & 4+\alpha^e & & \\ -12/l^{e^2} & -6/l^e & 12/l^{e^2} & \\ 6/l^e & 2-\alpha^e & -6/l^e & 4+\alpha^e \end{bmatrix} \text{symmetr.}$$

Elementmassenmatrix

$$m^e = \frac{Q^e \ell^e}{(1 - \alpha^e)} \begin{pmatrix} a_{11} & & & \\ a_{21} & a_{22} & \text{symmetr.} & \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$$

mit $\alpha^e = \frac{12 B^e}{A^e \ell^{e2}}$

$B^e = E \cdot J$	$[N m^2]$	Biegesteifigkeit
$A^e = G \cdot S$	$[N]$	Schubsteifigkeit
$r = \sqrt{I^e / Q^e}$	$[m]$	Trägheitsradius
Q^e	$[Ns^2 / m^2]$	Masse pro Längeneinheit
ℓ^e	$[m]$	Elementlänge

$$a_{11} = \frac{13}{55} + \frac{6}{5} \left(\frac{r}{\ell^e}\right)^2 + \frac{7}{10} \alpha^e + \frac{1}{3} \alpha^{e2}$$

$$a_{21} = \ell^e \left[\frac{11}{210} + \frac{11}{120} \alpha^e + \frac{1}{24} \alpha^{e2} + \frac{1}{2} \left(\frac{r}{\ell^e}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{5} - \alpha^e\right) \right]$$

$$a_{31} = \frac{9}{70} - \frac{6}{5} \left(\frac{r}{\ell^e}\right)^2 + \frac{3}{10} \alpha^e + \frac{1}{6} \alpha^{e2}$$

$$a_{41} = -\ell^e \left[\frac{13}{420} + \frac{3}{40} \alpha^e + \frac{1}{24} \alpha^{e2} - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{\ell^e}\right)^2 \left(\frac{1}{5} - \alpha^e\right) \right]$$

$$a_{22} = \ell^{e2} \left[\frac{1}{105} + \frac{\alpha^e}{60} + \frac{\alpha^{e2}}{120} + \frac{1}{3} \left(\frac{r}{\ell^e}\right)^2 \left(\frac{2}{5} + \frac{\alpha^e}{2} + \alpha^{e2}\right) \right]$$

$$a_{32} = \ell^e \left[\frac{13}{420} + \frac{3}{40} \alpha^e + \frac{1}{24} \alpha^{e2} + \frac{1}{2} \left(\frac{r}{\ell^e}\right)^2 \left(\alpha^e - \frac{1}{5}\right) \right]$$

$$a_{42} = -\ell^{e2} \left[\frac{1}{140} + \frac{\alpha^e}{60} + \frac{\alpha^{e2}}{120} + \frac{1}{6} \left(\frac{r}{\ell^e}\right)^2 \left(\frac{1}{5} + \alpha^e - \alpha^{e2}\right) \right]$$

$$a_{33} = \frac{13}{35} + \frac{6}{5} \left(\frac{r}{\ell^e}\right)^2 + \frac{7}{10} \alpha^e + \frac{1}{3} \alpha^{e2}$$

$$a_{43} = - a_{21}$$

$$a_{44} = a_{22}$$

Die Dämpfungsmatrix C wird als eine Linearkombination der Steifigkeitsmatrix K_s und der Massenmatrix M_s angenommen:

$$C = d_k K_s + d_m M_s,$$

wobei d_k und d_m konstant sind.

2.3. Programmspeichergrenzen

Im Programm VERFEM ist die Größe der Matrizen für verschiedene Parameter des Modells vorgegeben.

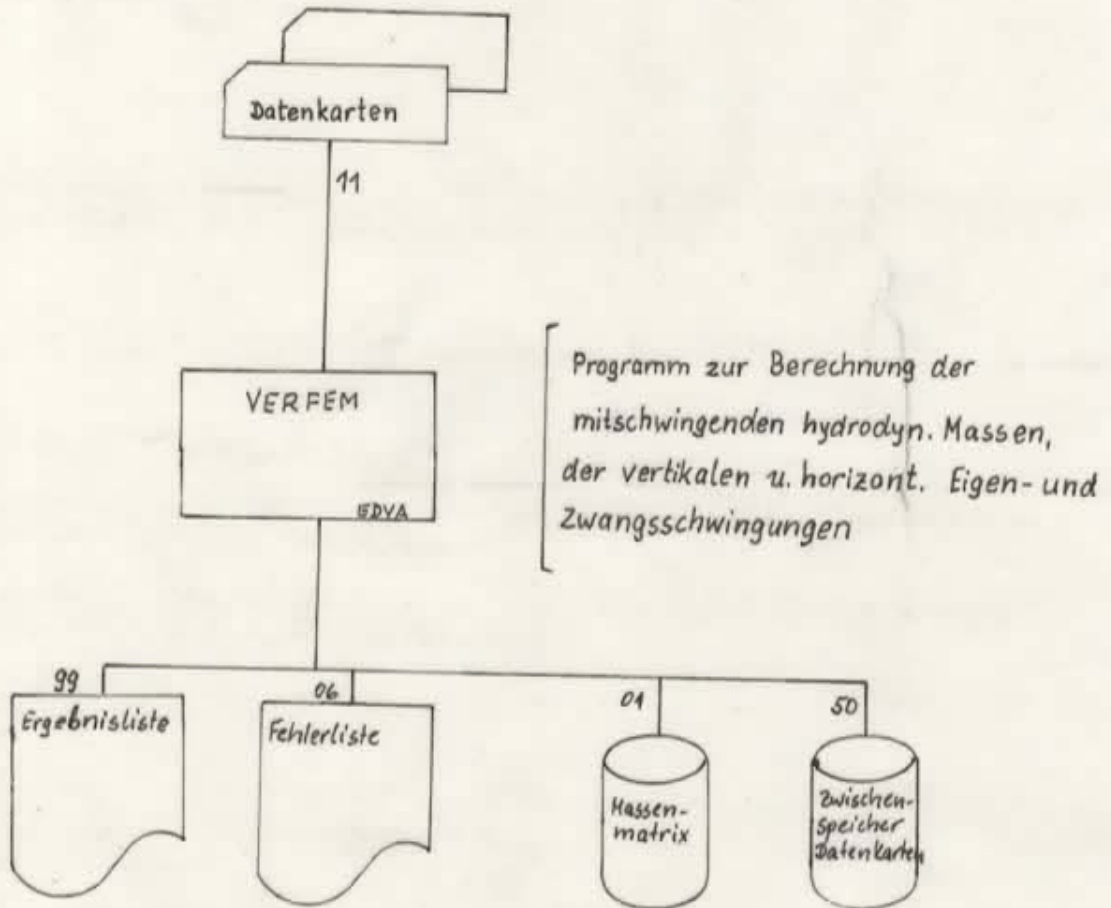
Programmteil für die Modellierung des Flüssigkeitsbereiches und Berechnung der hydrodynamischen Masse:

- maximale Anzahl der Flüssigkeitsknoten ($NNOD = 4 \cdot IE \cdot JE \cdot KE + 3 \cdot (IE \cdot JE + JE \cdot KE + IE \cdot KE) + 2 \cdot (IE + JE \cdot KE) + 1$)	817
- maximale Anzahl der Berührungsknoten Flüssigkeit/Schiffskörper	191
- maximale Anzahl der Knoten auf der freien Oberfläche	150
- maximale Zahl der 20-knotigen Flüssigkeits- elemente ($NEL = IE \cdot JE \cdot KE$)	120
- maximale Zahl der Flächen I ($2 \cdot JE + 1$)	7
- maximale Zahl der Flächen J ($2 \cdot JE + 1$)	17
- maximale Zahl der Flächen K ($2 \cdot KE + 1$)	27

Programmteil für die Schwingungsberechnung des Schiffskörpers:

- maximale Knotenzahl des Schiffsbalkens	23
- maximale Zahl der Balkenelemente	22
- maximale Zahl der Belastungszustände	24
- maximale Zahl der Frequenzen der erzwungenen Kräfte	25

3. Datenflußplan



Die Ziffern 01, 06, 11, 50, 99 geben die logischen Geräte im FORTRAN-Programm an.

4. Datenträgeraufbau

4.1. Datenkarten

Die Eingabe erfolgt auf dem logischen Gerät 11. Der Aufbau der Datenkarten ist den Formblättern zu entnehmen (Anlage). Durch einen Programmaufruf können mehrere Rechenbeispiele abgearbeitet werden. Zwei Leerkarten kennzeichnen den Abschluß der Datenkarten.

Die Datenkarten können in drei Gruppen geteilt werden:

- a) Eingabe der Flüssigkeitsdaten (bis einschließlich der Beschreibung der benetzten Oberfläche)
- b) Eingabe der Schiffskörperdaten (bis einschließlich der Reduktionsfaktoren der Biegesteifigkeiten)
- c) Eingabe für die Zwangsschwingungsrechnung

Hinweise für die Eingabe der Flüssigkeitsdaten

Es wird ein rechtwinkliges mit dem Schiff verbundenes Koordinatensystem XYZ angenommen, in dem die Achse X senkrecht nach unten oder nach oben gerichtet ist, die Achse Y waagrecht in Richtung Steuerbord und die Achse Z waagrecht in Richtung zum Bug verläuft.

Die Werte IE, JE, KE geben die Anzahl der Flüssigkeitsschichten in I, J, K-Richtung an. In diesen Schichten werden 20-knotige Elemente generiert, deren Mittelknoten ebenso wie die Eckknoten eine (Knoten-)Fläche in den jeweiligen Richtungen bilden (Flächenzahl = $2 * \text{Schicht} + 1$). Die Flüssigkeit ist so zu modellieren, daß vor und hinter dem Schiffsbalken eine Flüssigkeitsschicht überragt (Bild 4.1).

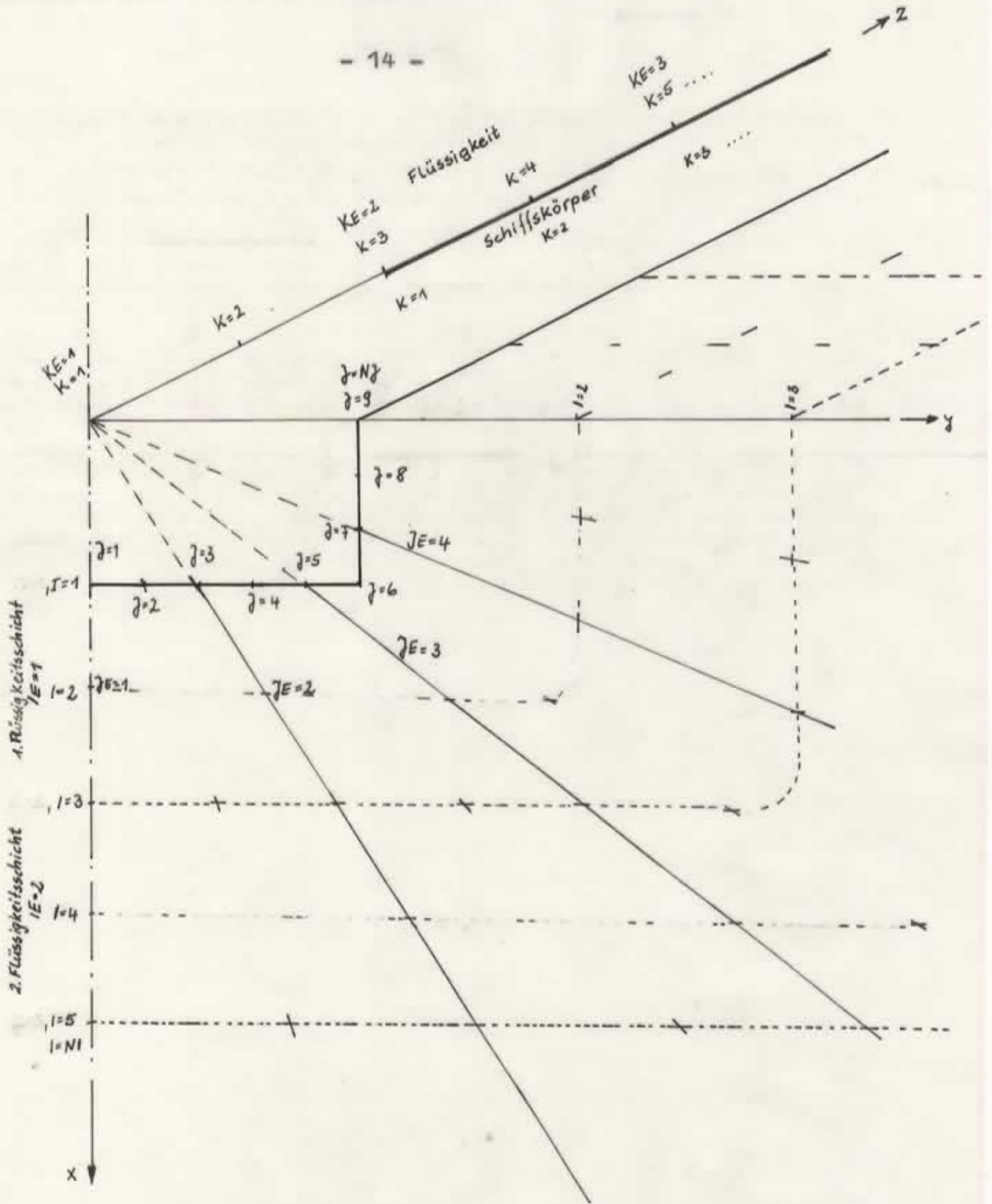


Bild 4.1: Flüssigkeitsschichten und Knotenflächen;
Lage des Schiffskörpers im Flüssigkeitsgebiet

An den Konturknotenkoordinaten $XW(J, k)$, $YW(J, k)$ des Schiffskörpers werden vom Programm die Knoten der Flüssigkeitselemente nach folgenden Gleichungen für jeden Schnitt k generiert.

$$X(L) = XW(J, k) - [\tau(k) - 1] \cdot [XF - XW(J, k)] \cdot C(i)$$

$$Y(L) = YW(J, k) - [\beta(k) - 1] \cdot YW(J, k) \cdot D(i)$$

Die Z-Koordinaten werden aus der Eingabe übernommen. Für die unbegrenzte horizontale und vertikale Ausdehnung der Flüssigkeit (tiefes Wasser) können die Werte $T = 9$ und $B = 9$ angenommen werden.

Für die Skalierung der Netzteilung in vertikaler und horizontaler Richtung werden folgende Werte vorgeschlagen:

für zwei Flüssigkeitsschichten ($IE = 2$, $NI = 5$):

$C(i) = D(i)$, $i = 1, 5$ haben folgende Werte: 0 ; 0.125 ; 0.25 ; 0.625 ; 1.0 ;

für drei Flüssigkeitsschichten ($IE = 3$, $NI = 7$):

$C(i) = D(i)$, $i = 1, 7$ haben folgende Werte: 0 ; 0.0383 ; 0.0766 ; 0.193 ; 0.308 ; 0.655 ; 1.0 ;

Das Flüssigkeitsgebiet wird immer zur Schiffslängsachse symmetrisch modelliert. Für ein Schiff am Kai kann deshalb das Flüssigkeitsgebiet für die Seitenausdehnung nur näherungsweise dargestellt werden.

Hinweise für die Eingabe der Schiffskörperdaten

Die Schiffskörperschwingungen werden auf der Grundlage eines Timoshenkobalkens bestimmt. Die Knotenpunkte, die die Balkenelemente begrenzen, müssen in den K-Flächen liegen, die bei den Berechnungen der mitschwingenden Massen verwendet wurden. Es wird vorausgesetzt, daß der erste und letzte Knotenpunkt in einer K-Fläche mit unpaariger Nummer liegen muß.

Die Reduktionsfaktoren für die Biegesteifigkeit der einzelnen Schwingungsgrade sind aus der Literatur zu entnehmen /2/ (siehe auch Anhang).

Hinweis für die Eingabe der Zwangsschwingungsrechnung

Wenn $LQ = 0$ ist, werden keine Zwangsschwingungsrechnungen durchgeführt, d. h. die Datenkarten von Liste 7 u. 8 werden vom Programm nicht eingelesen. Für $LS = 0$ darf keine Datenkarte für Einzelkrafteinwirkung vorhanden sein und für $LM = 0$ darf keine Datenkarte für Momenteneinwirkung vorliegen.

Jeder Belastungszustand wird durch eine beliebige Kombination von Kräften und Momenten bestimmt, die an den Knotenpunkten anliegen.

$$F_i \cos (2\pi f + \varphi_i)$$

$$M_i \cos (2\pi f + \gamma_i)$$

F_i, M_i Amplituden der Kräfte und Momente im i-ten Knotenpunkt

φ_i, γ_i Phasenwinkel der Kräfte und Momente im i-ten Knotenpunkt
(Variable FIF, FIM)

4.2. Zwischenspeicher Datenkarten

Die Datenkarten werden nach dem Echoprint auf das logische Gerät 50 ausgegeben und von dort im Programm verarbeitet. Die Verarbeitung erfolgt sequentiell. Der Aufbau der Datei entspricht dem der Datenkarten.

4.3. Massenmatrix

Für $IWY = 1$ in der Datenkarte erfolgt eine sequentielle Ausgabe der Massenmatrix auf das logische Gerät 01 in folgender Form:

```
DO 6      I = 1, NV
6  WRITE (1) (M (I, J), J = 1, NV)
```

4.4. Drucklisten

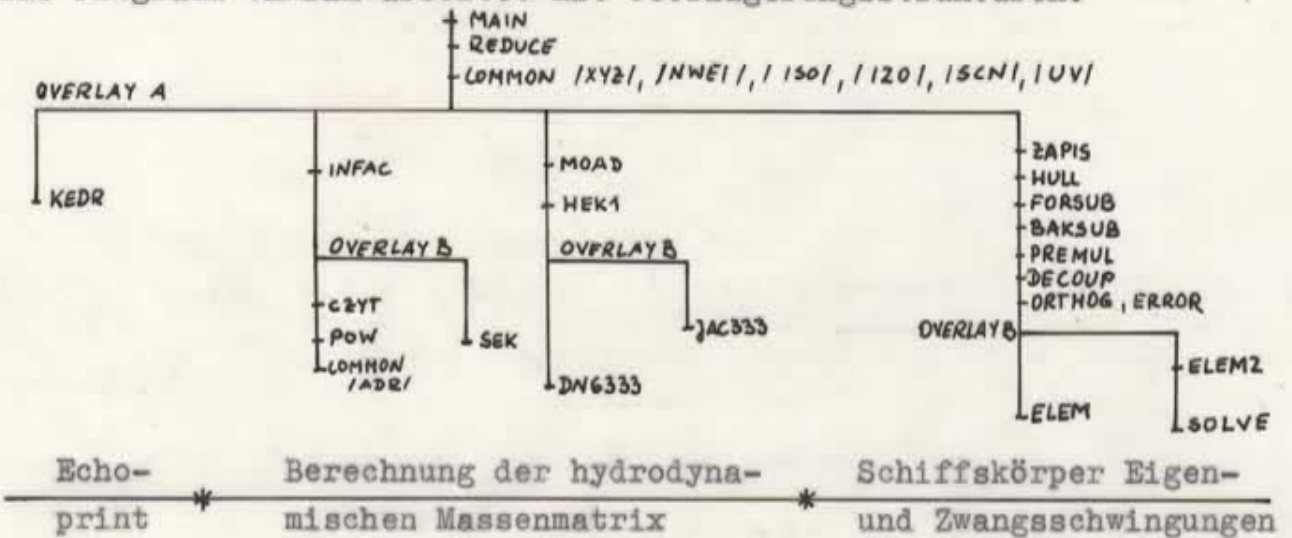
Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt auf dem logischen Gerät 99, während die Fehler, die von den Fortranroutinen erkannt werden, auf dem logischen Gerät 06 ausgegeben werden.

Ausgedruckt wird:

- die gesamten Datenkarten (Echoprint),
- die Knotenkoordinaten des Flüssigkeitsgebietes,
- die Knotennummern auf der benetzten Schiffskontur,
- die Knotennummern auf der freien Oberfläche,
- die Elementenummern mit den zugehörigen Knotennummern,
- die hydrodynamische Massenmatrix,
- die Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen
(1 Verschiebungs-, 1 Drehfreiheitsgrad),
- die Amplituden der erzwungenen Schwingungen für die Erregerfrequenzen und im Resonanzfall.

5. Programmstruktur

Das Programm VERFEM arbeitet mit Überlagerungsstrukturen.



6. Steuerkarten

```

//ST1      EXEC   PGM=VERFEM,REGION=450K,TIME=20
//STEPLIB  DD     UNIT=5061,DISP=SHR,VOL=SER=920015,DSN=TVS.L500
//FT01F001 DD     UNIT=SYSDA,DISP=(,PASS),DSN=88 MASS,
//         SPACE=(TRK,(100,20)),DCB=(RECFM=VS,BLKSIZE=800)
//FT06F001 DD     SYSOUT=A
//FT50F001 DD     UNIT=SYSDA,DISP=(,PASS),SPACE=(TRK,(40,10),RLSE),
//         DCB=(RECFM=FB,LRECL=80,BLKSIZE=800), DSN=88 PARA
//FT99F001 DD     SYSOUT=A,DCB=(RECFM=UA,BLKSIZE=133)
//FT11F001 DD     *,DCB=BLKSIZE=80
  
```

Datenkarten

//

7. Literaturverzeichnis

- /1/ Programmnutzeranweisung SHVAD
"Berechnung der mitschwingenden hydrodynamischen Massen und der Vertikalschwingungen des Schiffskörpers"
Zentrum für Schiffstechnik Gdansk
- /2/ Programmbenutzerinformation VERSCHWI3
VEB Kombinat Schiffbau Rostock
- /3/ P. Orsero and J. L. Armand
"A numerical determination of the entrained water in ship vibrations"
Int. J. Num. Meth. Engng., 13, 35 - 48, 1978

8. Berechnungsbeispiele

In diesem Abschnitt werden einige Rechenergebnisse von Beispielen dargestellt, die den Einfluß von Modellparameter (Wassertiefe, Elementteilung u. a.) auf die Eigenfrequenzen zeigen sollen. Zusätzlich erfolgt ein Vergleich mit den Ergebnissen nach dem Programm VERSCHWI.

Als Grundmodell wurde ein schiffsähnlicher Kastenträger (Ponton) aus /1/ mit folgenden Parametern gewählt (Bild 8.1):

Länge	$L = 160 \text{ m}$
Breite	$B = 24 \text{ m}$
Tiefgang	$T = 8 \text{ m}$
Biegesteifigkeit	$EI = 2.0 \cdot 10^{13} \text{ Nm}^2$
Schubsteifigkeit	$GS = 0.75 \cdot 10^{11} \text{ N}$
Masse pro Längeneinheit	$Q = 1.0 \cdot 10^5 \cdot \text{Ns}^2/\text{m}^2$
Massenträgheitsradius	$R_0 = 0.0 \text{ m}$
Dichte des Wassers	$\text{ROF} = 1025 \text{ Ns}^2/\text{m}^4$

Das Flüssigkeitsgebiet wurde begrenzt durch das Neunfache des Tiefgangs und das Neunfache der halben Bandbreite. Die Länge des Flüssigkeitsbereiches wurde mit 200 m angenommen. Als Elementschichten wurden folgende Angaben festgelegt:

$$\begin{aligned} IE &= 2 \\ JE &= 4 \\ KE &= 10 \end{aligned}$$

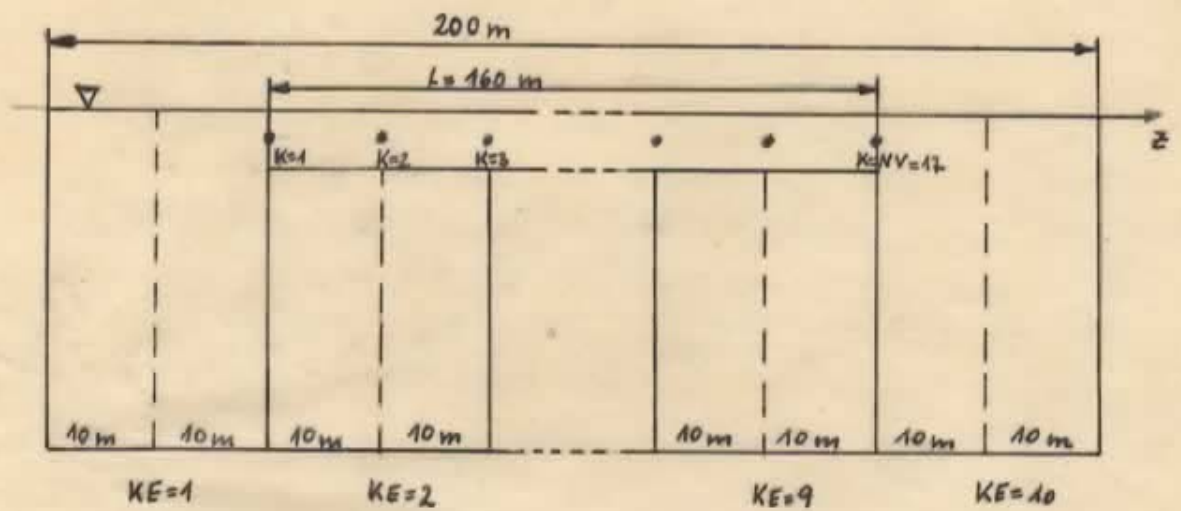
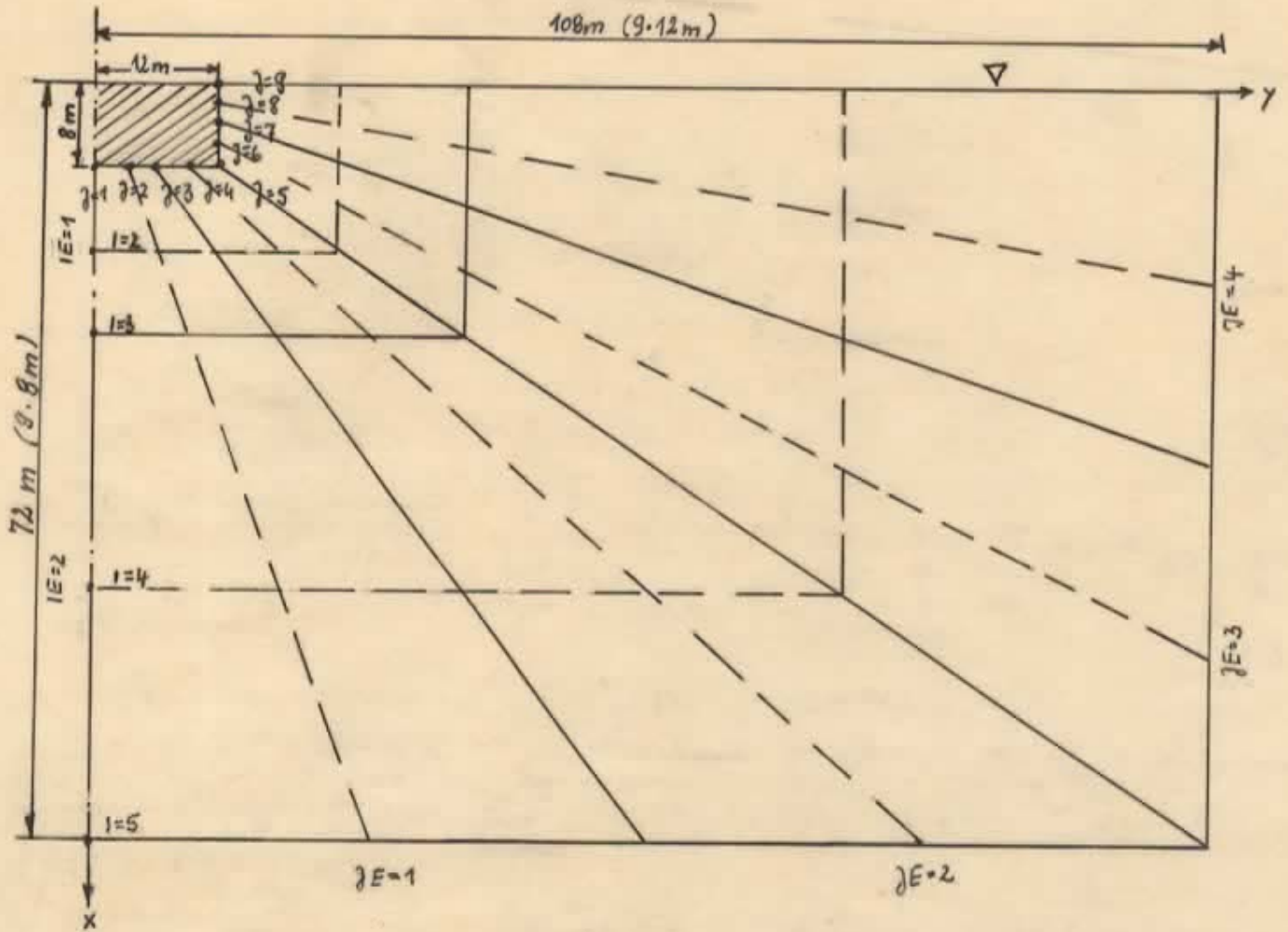


Bild 8.1: Modellierung und Vernetzung des Pontons mit dem Flüssigkeitsgebiet

Die Parameter für die Schwingungsberechnung sind:

Erregerlastfall 1:

Einzelkraft mit der Amplitude $F = 5 \cdot 10^4$ N mit Phasenwinkel 0° mit einem Angriffspunkt in 10 m Entfernung vom Heck (Balkenknoten 2).

Erregerlastfall 2:

Moment mit einer Amplitude von $M = 1 \cdot 10^6$ Nm und mit einem Phasenwinkel von 0° und einem Angriffspunkt in einer Entfernung von 20 m vom Heck (Balkenknoten 3).

Konstante Dämpfungsfaktoren sind für alle Berechnungsfälle

$$DK = 0,02; DM = 0.$$

Die Amplitude der Zwangsschwingungen wurden für die acht Erregerfrequenzen

$$f = 4,0, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.7., 4.8 \text{ bestimmt.}$$

Die Schwingungsabhängigkeit der Biegesteifigkeit wurde nicht berücksichtigt.

Die Datenkarten für diesen Berechnungsfall sind in Tabelle 8.1 zusammengefaßt.

Der Einfluß durch Variation verschiedener Parameter auf die Eigenfrequenzen des Pontons ist in Tabelle 8.2 dargestellt.

Loch- nr.	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	
1.	B, E, I, S, P, I, E, L, L,	K, A, S, T, E, N, T, R, A, E	G, E, R, (P, O, M, T, O, M),	G, T, O, (G, I, D, A	N, S, I, K,	M, M, S,	(F, L, U, E, S, S, I, G, K, . . .	G, E, B, I, E, T, I, .										
2.	2,	1, 7	4	8	8	6	9	1, 2	2, 0	3, 0	1, 0, 0	1, 2	1, 2	3, 0	4, 0			
3.	2,	1, 0																
4.	2, 1,	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
5.		2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.		0	3	0	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7.		1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2
8.		-2, 0	-1, 0	-1, 0	-1, 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.		5, 0	6, 0	6, 0	6, 0	7, 0	7, 0	7, 0	7, 0	7, 0	7, 0	7, 0	7, 0	7, 0	7, 0	7, 0	7, 0	7, 0
10.		1, 2, 0	1, 3, 0	1, 3, 0	1, 3, 0	1, 4, 0	1, 4, 0	1, 4, 0	1, 4, 0	1, 4, 0	1, 4, 0	1, 4, 0	1, 4, 0	1, 4, 0	1, 4, 0	1, 4, 0	1, 4, 0	1, 4, 0
11.	2, 1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
12.		1, 2, 5	2, 5	2, 5	2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5
13.		1, 2, 5	2, 5	2, 5	2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5	6, 2, 5
14.	1	5	9	9	9	1	2, 1											
15.	1	1	9	3	1, 9													
16.																		
17.	1, 7	8	2															
18.	0	1, 0	2, 0	2, 0	2, 0	3, 0	3, 0	3, 0	3, 0	3, 0	3, 0	3, 0	3, 0	3, 0	3, 0	3, 0	3, 0	3, 0
19.	8, 0	9, 0	1, 0, 0	1, 0, 0	1, 0, 0	1, 1, 0	1, 1, 0	1, 1, 0	1, 1, 0	1, 1, 0	1, 1, 0	1, 1, 0	1, 1, 0	1, 1, 0	1, 1, 0	1, 1, 0	1, 1, 0	1, 1, 0
20.	1, 6, 0																	
21.	2	E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4
22.	2	E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4	2, E, 1, 4
23.	7, 5	E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1
24.	7, 5	E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1	7, 5, E, 1, 1
25.	1, 1	E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6	1, 1, E, 1, 6

Tabelle 8.1 (Teil 1): Zusammenstellung der Datenkarten für einen Kastenträger (Ponton) - Grundmodell

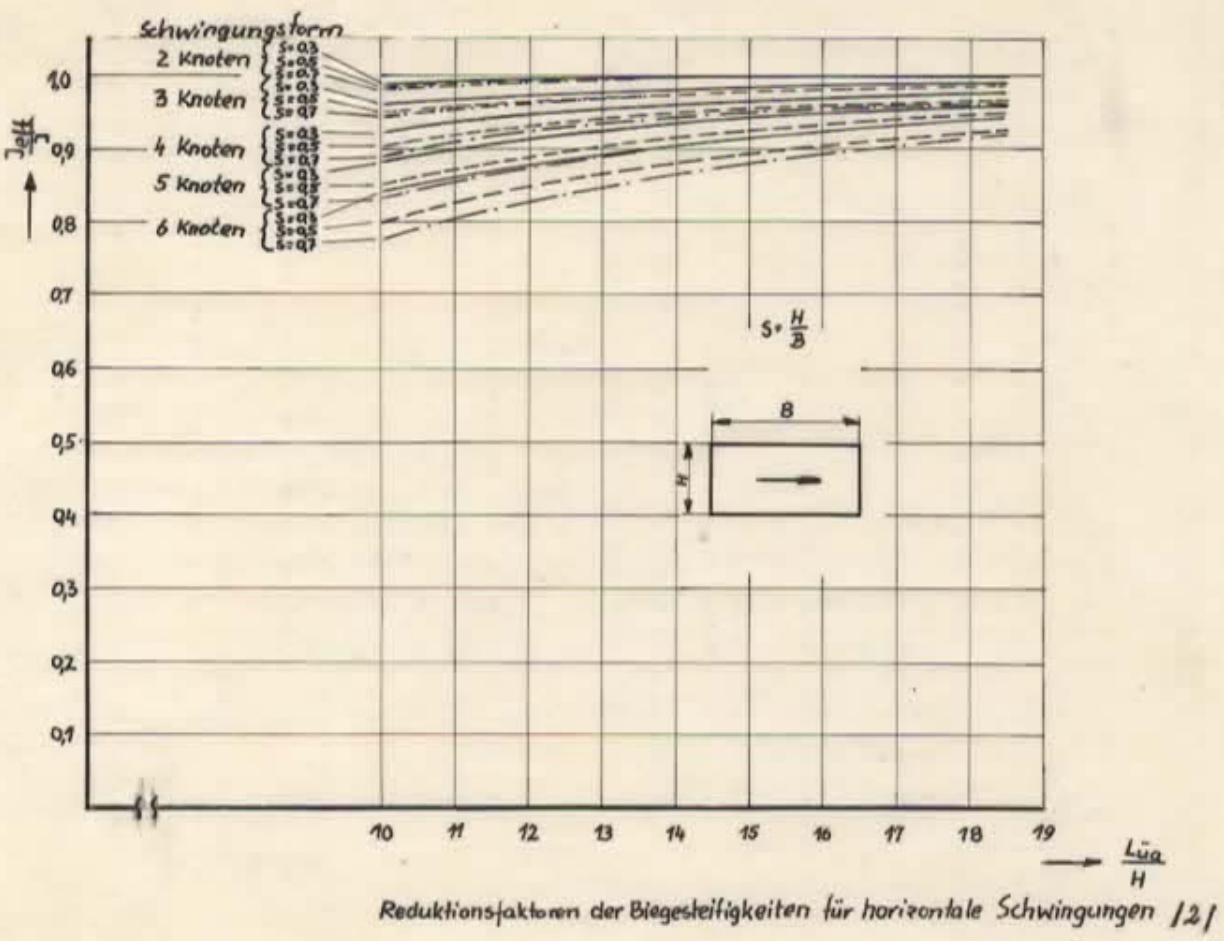
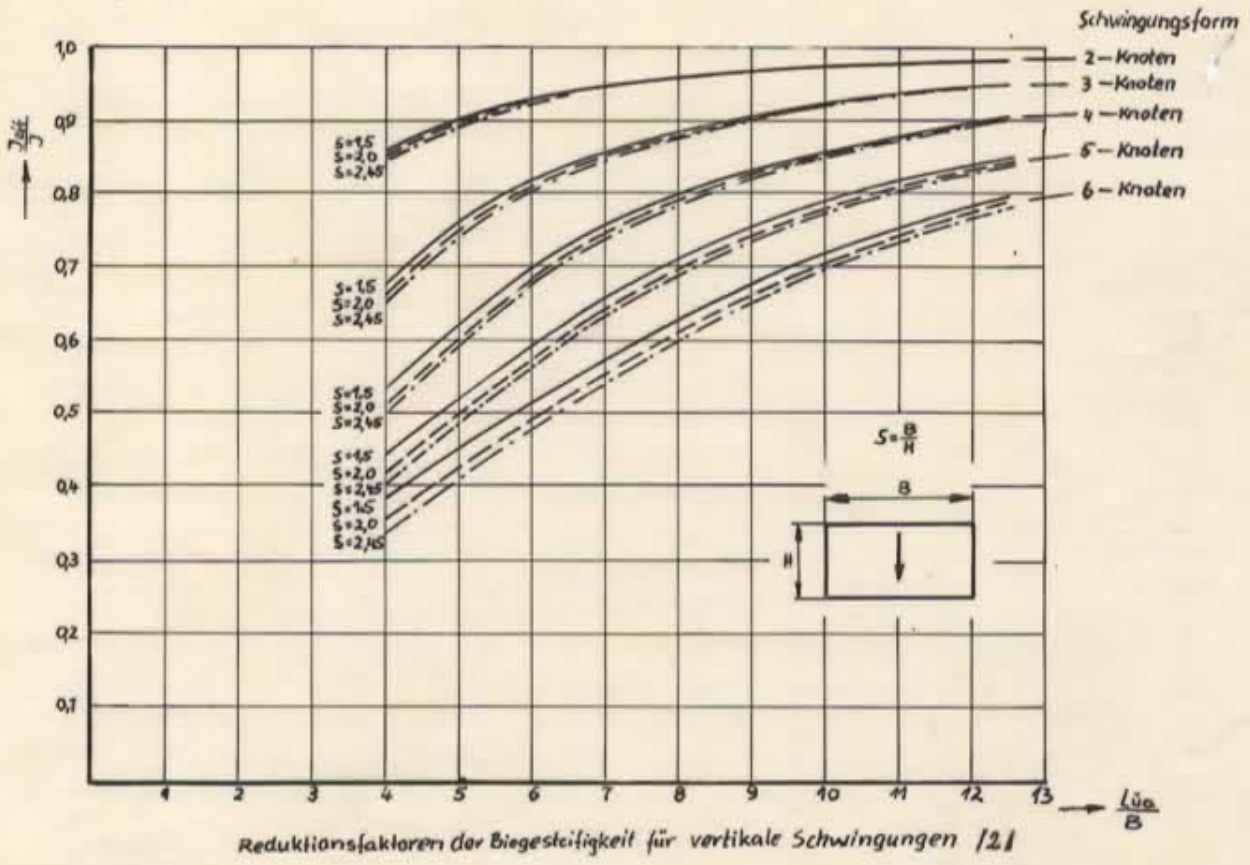
Loch- nr.	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80			
26.		1	E	6	1	E	6	1	E	6	1	E	6	1	E	6	1	E	6	
27.					(Leerkarte)															
28.					(Leerkarte)															
29.		1	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	
30.		0	2	.	0	.	0	.	0	.	0	.	0	.	0	.	0	.	0	
31.		4	.	0	4	.	1	4	.	2	4	.	3	4	.	4	5	4	.	7
32.		1	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	1
33.		1	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	1
34.		2	.	.	5	0	0	.	0	.	0	.	0	.	0	.	0	.	0	.
35.		0	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	1	.	.	1
36.					1	0	0	0	.	0	.	0	.	0	.	0	.	0	.	0
37.					(Leerkarte)															
38.					(Leerkarte)															

Tabelle 8.1 (Teil 2): Zusammenstellung der Datenkarten für einen Kastenträger (Ponton)-Grundmodell

Parameteränderung	f ₁ (Hz)	f ₂ (Hz)	f ₃ (Hz)	f ₄ (Hz)	f ₅ (Hz)	interne Rechen- zeit (min)	hydrodyn. Masse bei Starrkör- perbewegung (t)
Grundmodell	1.067	2.663	4.649	6.866	9.331	5'	45135
Variation Wassertiefe (Grundmodell 72 m, T = 9)							
Wassertiefe = 10 m (T = 1,25)	0.908	2.234	3.887	5.793	8.029	5'	61520
= 16 m (T = 2)	0.977	2.457	4.354	6.539	9.018	5'	56075
= 48 m (T = 6)	1.062	2.655	4.634	6.833	9.257	5'	45810
= 96 m (T = 12)	1.073	2.678	4.683	6.938	9.468	6'	44674
Variation der seitlichen Flüssig- keitsbegrenzung (Grundmodell 108 m, B = 9)							
Seitenausdehnung der Flüssigk. = 13,2 m (B = 1,1)							
	1.006	2.626	4.673	6.941	9.381	6'	91407
Variation der Netzteilung (Grund- modell 2 Flüssigkeitsschichten IE=2)							
3 Flüssigkeitsschichten IE = 3	1.042	2.596	4.518	6.638	8.934	9'	47830
Berücksichtigung des Trägheitsradius (Grundmodell RO = 0 m)							
Trägheitsradius RO = 4,3 m	1.062	2.644	4.610	6.806	9.242	5'	45135
Vergleichsrechnung VERSCHWI ohne re- duzierte Biegesteifigkeitsfaktoren							
	0.987	2.475	4.289	6.247	8.335	1'	52252

Tabelle 8.2: Einfluß auf die Eigenfrequenzen eines Pontons durch Parameteränderungen

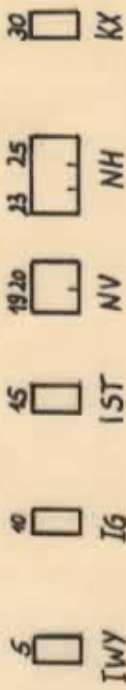
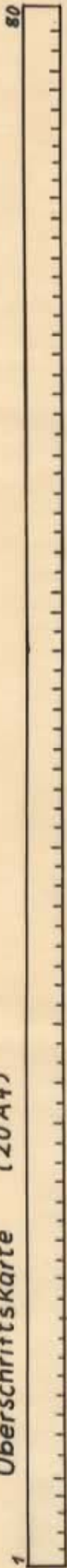
Anlage :



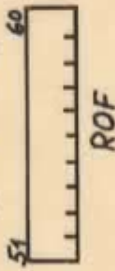
Programm VERFEM, Liste 1

VEB Kombinat Schiffbau Rostock

Überschriftskarte (20 A4)



Dichte Wasser [Ns^2/m^3]



(615, 20X, F10.0)

IWY = 0 Berechnung hydrodyn. Masse

IWY = 1 -"- mit Ausgabe auf Platte

IWY = 2 -"- und Schwingungsrechn.

IWY = 3 Schwingungsrechn. in Luft

KX = 0 Berechn. vertik. hydrodyn. Massen

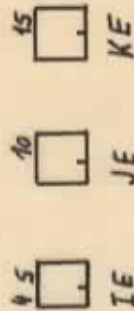
KX = 1 Berechn. horizont. hydrodyn. Massen

IG = 0 Autom. Netzerzeugung

IST = 0

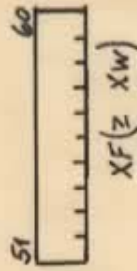
NV Anz. der K-Ebenen d. Schiffskörpers (max. 25)

NH Anz. der 20 knotigen Elemente je Schicht über der Kontur ($\frac{1}{2} JE = 3-8$)



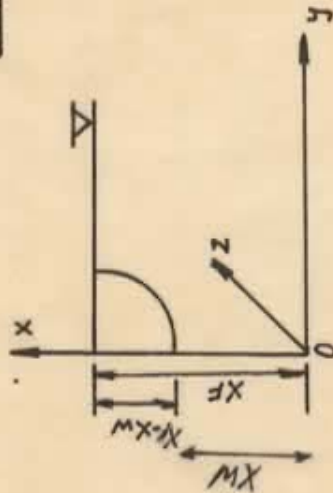
Anzahl der Schichten in I, J, K-Richtung

($IE = \max. 3$
 $JE = \max. 8$
 $KE = \max. 13$)



(315, 35X, F10.0)

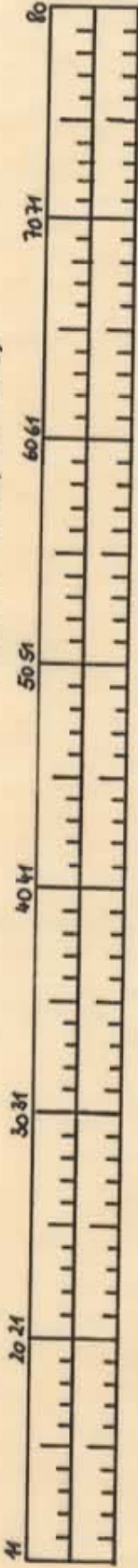
Abstand Koord.-ursprung - freie Oberfläche [m]



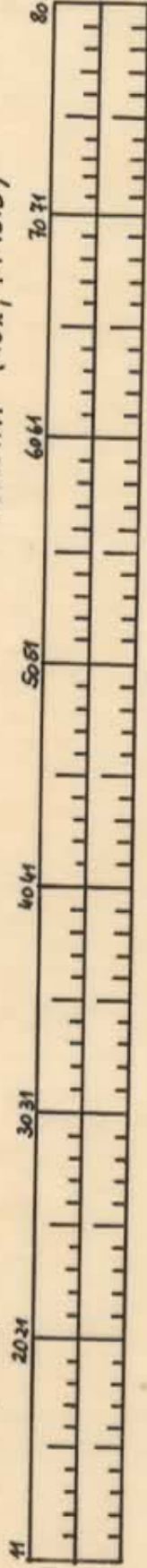
Programm VERFEM, Liste 4

VEB Kombinat Schiffbau Rostock

Skalierung der Netzteilung in der vertikalen Richtung $C(I) = 0$; $C(NI) = 1$ mit $NI = 2 * NE + 1$
 FORMAT (10X, 7F10.0)

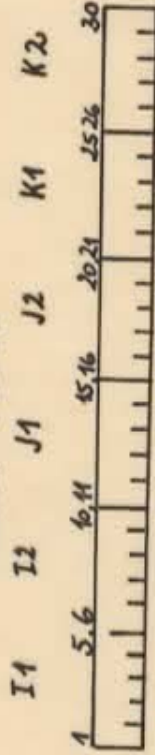


Skalierung der Netzteilung in der horizontalen Richtung $D(I) = 0$; $D(NI) = 1$
 FORMAT (10X, 7F10.0)



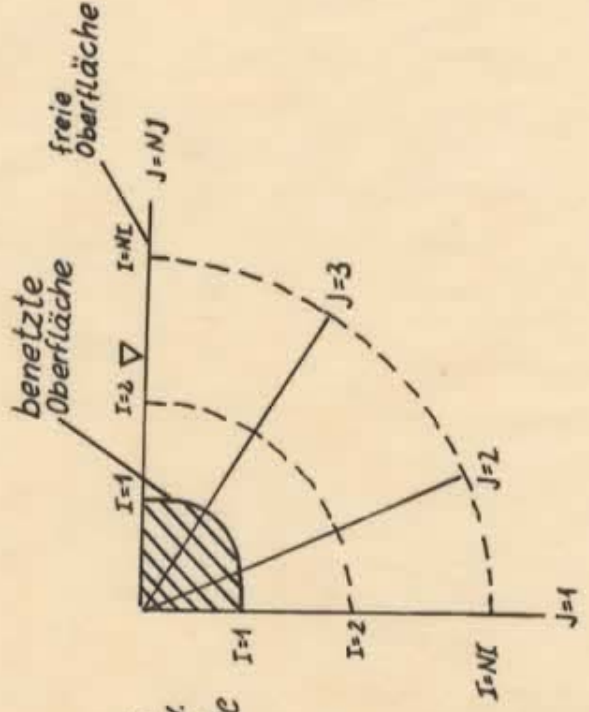
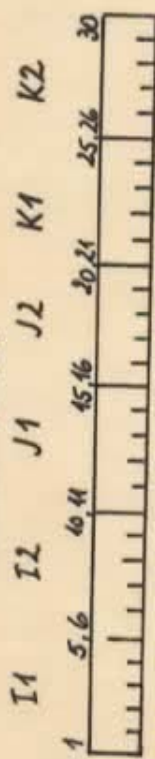
Festlegung der freien Oberfläche

FORMAT (6I5)



Beschreibung der benetzten Oberfläche

FORMAT (6I5)



I_1, \dots, I_2 sind Ebenen, die die freie Oberfl. bzw. die benetzte Oberfläche begrenzen.

