

Nur für den Dienstgebrauch

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

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

Bericht 6: Berechnung orthotroper Elastizitätsmatrizen für gesickte Flächentragwerke

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. Schmitz

Verantwortlicher  
Bearbeiter:

Dr. Geßner

Beginn der Arbeit:

9/83

Abschluß der Arbeit:

4/84

Der Bericht besteht aus:

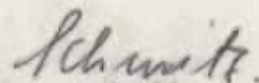
14 Seiten  
1 Tabelle

Anzahl der angefertigten  
Exemplare:

Nummer dieses Exemplares:



Dr. Dallach  
Hauptabteilungsleiter EE



Dr. Schmitz  
Verantw. wiss.-techn.  
Bearbeiter

### 1. Einführung

Im Schiffbau werden häufig anstelle versteifter Flächentragwerke Sickenkonstruktionen eingesetzt. Bei der Schwingungsberechnung größerer Konstruktionen ist es nicht möglich, die einzelnen Streifen einer Sicke durch zueinander geneigte Flächenelemente zu idealisieren. Um die Größe des Eigenwertproblems und damit die Rechenzeit in vertretbaren Grenzen zu halten, müssen größere Bereiche einer Sickenkonstruktion als ein Element behandelt werden, was in der nachfolgend beschriebenen Weise geschehen kann.

Bei der Verwendung der Schalenelemente (Typ 6) des Programms PASSAD ist die Eingabe der Elastizitätsmatrix C notwendig, die Spannungen und Verzerrungen verknüpft:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} & 0 \\ C_{yx} & C_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & G_{xy} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Im Isotropiefall gilt:

$$C_{xx} = C_{yy} = \frac{E}{1-\nu^2} ; \quad C_{xy} = \frac{\nu E}{1-\nu^2} ; \quad G_{xy} = G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Für orthotrope Materialeigenschaften gilt

$$C_{xx} = \frac{E_x}{1-\nu_{xx}\nu_{yx}} ; \quad C_{yy} = \frac{E_y}{1-\nu_{yy}\nu_{xy}} ; \quad C_{xy} = \frac{\nu_{xy}E_x}{1-\nu_{yx}\nu_{xy}} ; \quad C_{yx} = \frac{\nu_{yx}E_y}{1-\nu_{yx}\nu_{xy}} \quad (2)$$

Die in der Sickenkonstruktion begründete geometrische Orthotropie muß näherungsweise durch eine Materialorthotropie ersetzt werden, wobei die  $C_{ik}$  so bestimmt werden, daß die Steifigkeiten der Sickenkonstruktion denen einer ebenen Platte bzw. Scheibe gleicher Dicke in etwa entsprechen. Dies muß

für die Platten- und Scheibenverformungen getrennt erfolgen. Im Programm PASSAD ist die Berücksichtigung der unterschiedlichen Elastizitätsmatrizen vorgesehen.

## 2. Plattenverformungen

Zwischen der Durchbiegung  $w$  und den Verzerrungen lassen sich folgende Zusammenhänge ableiten:

$$\epsilon_x = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad \epsilon_y = -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \quad \gamma_{xy} = -2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (3)$$

Mit (1) und (2) folgt

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= -z \left( C_{xx} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + C_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ \sigma_y &= -z \left( C_{yy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + C_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ \tau_{xy} &= -z \cdot 2 G_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{aligned} \right\} (4)$$

Die auf die Längeneinheit bezogenen Biege- und Drillmomente ergeben sich damit für ein Plattenelement der Dicke  $t$  zu:

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_x z \, dz = -\frac{t^3}{12} \left( C_{xx} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + C_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ m_y &= \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_y z \, dz = -\frac{t^3}{12} \left( C_{yy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + C_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ m_{xy} &= \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{xy} z \, dz = \frac{t^3}{12} \cdot 2 G_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{aligned} \right\} (5)$$

Führt man nach [1] die allgemeinen Plattensteifigkeiten  $D_x$ ,  $D_y$ ,  $D_{xy}$  ein, wobei offengelassen wird, ob die Orthotropie durch das Material, die Geometrie oder beide bestimmt wird, so kann man schreiben:

$$\left. \begin{aligned} m_x &= -D_x \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ m_y &= -D_y \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu_{yx} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ m_{xy} &= 2 D_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{aligned} \right\} (6)$$

Aus (5) und (6) erhält man

$$\left. \begin{aligned} C_{xx} &= \frac{12}{t^3} D_x & C_{yy} &= \frac{12}{t^3} D_y \\ C_{xy} &= \frac{12}{t^3} \nu_{xy} D_x & C_{yx} &= \frac{12}{t^3} \nu_{yx} D_y \\ G_{xy} &= \frac{12}{t^3} D_{xy} \end{aligned} \right\} (7)$$

Nach dem Reziprositätssatz muß gelten:

$$\nu_{xy} D_x = \nu_{yx} D_y \quad (8)$$

Betrachtet man ein Plattenelement, dessen Orthotropie in der Geometrie begründet ist, so gilt nach [1/

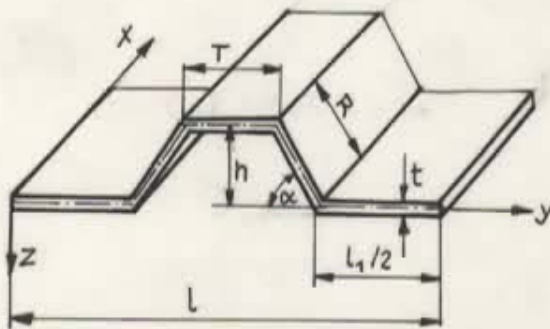
$$D_x = \frac{E \bar{I}_x}{1 - \nu_{yx} \nu_{xy}} \quad D_y = \frac{E \bar{I}_y}{1 - \nu_{yx} \nu_{xy}} \quad (9a)$$

wobei die  $\bar{I}_x$  und  $\bar{I}_y$  die auf die Längeneinheit bezogenen Trägheitsmomente der in X- und Y-Richtung verschiedenen Querschnitte sind.

Die Drillsteifigkeit hängt von beiden Hauptrichtungen ab und kann nicht exakt bestimmt werden. In /1/ wird in Anlehnung an die isotrope Platte, für die  $2D_{xy} = (1-\nu)D$  gilt, vorgeschlagen, den geometrischen Mittelwert als Näherung zu verwenden:

$$2D_{xy} = (1 - \sqrt{\nu_{yx}\nu_{xy}}) \sqrt{D_x D_y} \quad (9b)$$

Für eine Sicke entsprechend Bild 1 sollen nun die Konstanten  $C_{ik}$  bestimmt werden.



abgewickelte Länge:  
 $l_1 + 2R + T = l_a$

Bild 1

Nach /1/ ist die Biegesteifigkeit  $D_y$  einer gewellten Platte um den Faktor  $\frac{l}{l_a}$  kleiner und die Drillsteifigkeit um  $\frac{l_a}{l}$  größer als die einer ebenen Platte gleicher Dicke. Die Biegesteifigkeit  $D_y$  erhält man, wenn man das Trägheitsmoment  $I_x$  des Sickenquerschnittes berechnet und auf die Länge  $l$  bezieht:

$$\left. \begin{aligned} D_x &= \frac{E I_x}{(1-\nu_{yx}\nu_{xy})l} \\ D_y &= \frac{l}{l_a} \frac{E t^3}{12 (1-\nu_{yx}\nu_{xy})} \\ D_{xy} &= \frac{l_a}{l} \frac{G t^3}{12} = \end{aligned} \right\} (10)$$

oder nach (9b)

$$D_{xy} = \frac{1}{2} (1 - \sqrt{\nu_{yx}\nu_{xy}}) \sqrt{D_x D_y}$$

Schwierigkeiten bereitet die Bestimmung der  $\nu_{yx}$ ,  $\nu_{xy}$ .  
Für die Sickenkonstruktion ist  $D_x \gg D_y$ , woraus aus (8)  
 $\nu_{xy} \ll \nu_{yx}$  folgt.

Wegen  $\nu_{yx} < 1$  ist es deshalb gerechtfertigt,  $\nu_{xy} = 0$   
zu setzen. Um (7) und (8) widerspruchsfrei zu erfüllen, muß  
dann auch  $\nu_{yx} = 0$  gesetzt werden. Damit erhält man aus (10):

$$D_x = \frac{EI_x}{l} \quad ; \quad D_y = \frac{l}{l_a} \frac{Et^3}{12} \quad ; \quad D_{xy} = \frac{1}{2} \sqrt{D_x D_y} \quad (11)$$

und mit (7):

$$C_{xx} = \frac{12}{t^3} \frac{EI_x}{l}$$

$$C_{yy} = \frac{l}{l_a} E$$

$$C_{xy} = C_{yx} = 0$$

$$G_{xy} = \frac{l_a}{l} G$$

oder

$$G_{xy} = \frac{6}{t^3} \sqrt{D_x D_y} = \frac{3E}{t^2} \sqrt{\frac{I_x t}{3 l_a}}$$

(12)

Für extrem flache Sicken, wo die Bedingung  $D_x \gg D_y$  nicht  
erfüllt ist, kann für  $\nu_{yx} = \nu$  angenommen werden. Aus (8) folgt  
dann  $\nu_{xy} = \nu D_y / D_x$ .

Eingesetzt in (10) ergibt

$$D_x = \frac{D_x E I_x}{(D_x - \nu^2 D_y) l}$$

$$D_y = \frac{l}{l_a} \frac{D_x E t^3}{12 (D_x - \nu^2 D_y)}$$

Nach Lösung des Gleichungssystems erhält man

$$\left. \begin{aligned} D_x &= 12 \frac{l_a}{l} \frac{EI_x^2}{(12 I_x l_a - \nu^2 l^2 t^3)} \\ D_y &= \frac{EI_x l t^3}{12 I_x l_a - \nu^2 l^2 t^3} \\ \nu_{xy} &= \frac{\nu t^3 l^2}{12 I_x l_a} \\ D_{xy} &= \frac{EI_x t}{12 I_x l_a - \nu^2 l^2 t^3} \left(1 - \nu l t \sqrt{\frac{t}{12 I_x l_a}}\right) \sqrt{3 I_x l_a t} \end{aligned} \right\} (13)$$

Für die  $G_{ik}$  folgt mit (7):

$$\left. \begin{aligned} C_{xx} &= \frac{144}{t^3} \frac{l_a}{l} \frac{EI_x^2}{(12 I_x l_a - \nu^2 l^2 t^3)} \\ C_{yy} &= \frac{12 EI_x l}{12 I_x l_a - \nu^2 l^2 t^3} \\ C_{yx} = C_{xy} &= \frac{12 \nu EI_x l}{12 I_x l_a - \nu^2 l^2 t^3} \\ G_{xy} = \frac{l_a}{l} G &= \frac{12}{t^2} \frac{EI_x (1 - \nu l t \sqrt{\frac{t}{12 I_x l_a}}) \sqrt{3 I_x l_a t}}{12 I_x l_a - \nu^2 l^2 t^3} \end{aligned} \right\} (14)$$

Für eine im Schiffbau übliche Sicke S 60 aus 6 mm Blech und 600 mm Abstand erhält man mit  $I_x = 210 \text{ cm}^4$ ,  $l = 60 \text{ cm}$ ,  $l_a = 67 \text{ cm}$ ,  $t = 0,6 \text{ cm}$

$$\nu_{xy} = 1,38 \cdot 10^{-3}$$

Damit liefern die Gleichungen (12) und (14) jeweils für  $C_{xx}$  und  $C_{yy}$  nahezu identische Werte. Es ist also gerechtfertigt, für  $C_{xx}$  und  $C_{yy}$  die Gleichung (12) anzuwenden, die aus (14) mit  $\nu^2 = 0$  hervorgehen. Die Gleichung (14) gibt aber die Möglichkeit, das Koppelglied  $C_{xy}$  zu berechnen, wobei in Näherung  $\nu^2 = 0$  gesetzt werden kann:

$$C_{xy} = C_{yx} = \nu \frac{l}{l_a} E \quad (15)$$

Für die oben betrachtete Sicke liefert (14)  $C_{xy} = 0,2687 E$  und (15)  $C_{xy} = 0,2685 E$ .

Die für  $G_{xy}$  in Gleichung (12) angegebenen unterschiedlichen Beziehungen, die beide in /1/ vorgeschlagen werden, liefern für die betrachtete Sicke deutlich verschiedene Werte:

$$G_{xy} = \frac{l_a}{l} G = 1,16 G = 0,446 E$$

$$G_{xy} = \frac{3E}{t^2} \sqrt{\frac{I_x t}{3l_a}} = 6,59 E$$

Der 2. Wert scheint im Verhältnis zur isotropen Platte zu hoch, deshalb wird empfohlen, die Beziehung  $G_{xy} = \frac{l_a}{l} G$  zu verwenden.

Zusammenfassend wird vorgeschlagen, die  $C_{ik}$  für die im Schiffbau üblichen Sicken wie folgt zu bestimmen:

$$\left. \begin{aligned} C_{xx} &= \frac{12}{t^3} \frac{E I_x}{l} \\ C_{yy} &= \frac{l}{l_a} E \\ C_{xy} &= C_{yx} = \frac{y l}{l_a} E \\ G_{xy} &= \frac{l_a}{l} G = \frac{l_a}{l} \frac{E}{2(1+\nu)} \end{aligned} \right\} (16)$$

## 2.2. Scheibenverformungen

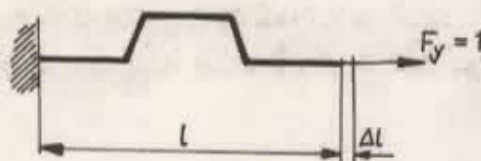
Für die x-Richtung erhält man aus dem Gleichsetzen der Scheibensteifigkeiten des Sickenquerschnittes mit einer orthotropen Scheibe gleicher Blechdicke mit den Bezeichnungen nach Bild 1

$$\begin{aligned} E_x t l &= E t l_a \\ E_x &= \frac{l_a}{l} E \end{aligned} \quad (17)$$

In y-Richtung ist die Sicke infolge der auftretenden Biegung sehr viel weicher als eine ebene Platte.

Betrachtet man einen Streifen der Sicke mit der Breite 1 in x-Richtung und belastet ihn in y-Richtung mit einer Einheitskraft  $F_y = 1$  (siehe Skizze), so gilt

$$E_y = \sigma_y \frac{l}{\Delta l} = \frac{l}{t \Delta l}$$



Mit Hilfe des Satzes von Castigliano lässt sich nun leicht  $\Delta l$  und damit  $E_y$  berechnen, wobei die Beziehungen von Bild 1 verwendet werden:

$$\Delta l = \frac{\partial W}{\partial F_y} = \frac{4h^2(2R+3T) + t^2(T+L_1)}{Et^3}$$

$$E_y = \frac{Elt^2}{4h^2(2R+3T) + t^3(T+L_1)}$$

Der 2. Summand im Nenner kann bei den üblichen Plattendicken vernachlässigt werden:

$$E_y = \frac{Elt^2}{4h^2(2R+3T)} \quad (18)$$

Nach (2) erhält man mit (17) und (18)

$$C_{xx} = \frac{E}{1 - \nu_{yx}\nu_{xy}} \frac{l_a}{l} \quad (19)$$

$$C_{yy} = \frac{Elt^2}{4h^2(2R+3T)(1 - \nu_{yx}\nu_{xy})}$$

Die Bestimmung von  $\nu_{yx}$ ,  $\nu_{xy}$  bereitet die gleichen Schwierigkeiten wie bei der Platte.  $C_{xx}$  ist auch hier wesentlich größer als  $C_{yy}$ , deshalb kann wegen  $\nu_{yx}C_{yy} = \nu_{xy}C_{xx}$   $\nu_{xy}$  und  $\nu_{yx}$  in erster Näherung = 0 gesetzt werden. Setzt man wie bei der Platte  $\nu_{yx} = \nu$  so folgt

$$\nu_{xy} = \nu \frac{C_{yy}}{C_{xx}},$$

$$C_{xx} = \frac{E}{1 - \nu^2} \frac{l_a}{C_{xx}} \frac{l_a}{l} ,$$

$$C_{yy} = \frac{E t^2}{4 h^2 (2R + 3T) (1 - \nu \frac{C_{yy}}{C_{xx}})}$$

und daraus mit der Abkürzung  $N = 4 h^2 (2R + 3T)$  :

$$C_{xx} = \frac{E N \left(\frac{l_a}{l}\right)^2}{N \frac{l_a}{l} - l t^2 \nu^2}$$

$$C_{yy} = \frac{E t^2 l_a}{N \frac{l_a}{l} - l t^2 \nu^2}$$

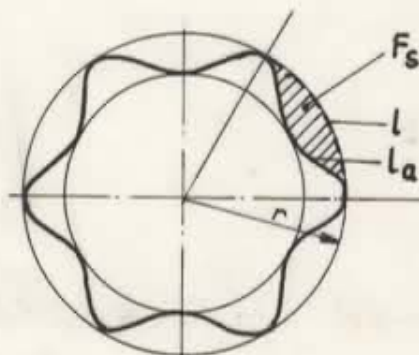
$$\nu_{xy} = \nu \frac{l^2 t^2}{N l_a}$$

$$C_{xy} = C_{yx} = \nu C_{yy} = \nu_{xy} C_{xx} = \frac{\nu E t^2 l_a}{N \frac{l_a}{l} - l t^2 \nu^2}$$

(20)

Für die Berechnung von  $G_{xy}$  wird einem Vorschlag von Fujita /2/ gefolgt.

Fujita berechnet die Schubsteifigkeit der gewellten Platte aus dem Vergleich der Torsionssteifigkeiten eines Kreiszylinders und eines gewellten Zylinders gleicher Dicke, für dessen Radius der Grenzübergang  $r \rightarrow \infty$  durchgeführt wird.



$n = \text{Anzahl der Sicken}$

$$G_{xy} I_{TK} = G I_{TS} \quad G_{xy} = G \frac{I_{TS}}{I_{TK}}$$

Nach Bredt folgt  $I_T = 4 F_m^2 \oint \frac{ds}{t}$

Kreiszylinder  $I_{TK} = \frac{1}{2} (\pi r^2)^2 / n l / t$

gewellter Zylinder  $I_{TS} = \frac{1}{2} (\pi r^2 - n F_s)^2 / n l_a / t$

$$G_{xy} = G \frac{l}{l_a} \left( 1 - \frac{n F_s}{\pi r^2} \right)$$

$r \rightarrow \infty :$

$$G_{xy} = G \frac{l}{l_a} \quad (21)$$

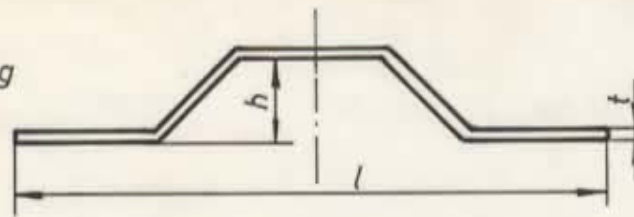
Für die im Schiffbau angewendeten Sicken ergeben sich für  $\nu_{xy}$  nach (20) ebenfalls sehr kleine Werte (für die oben betrachtete Sicke S 60  $\nu_{xy} = 0,93 \cdot 10^{-4}$ ), so daß analog zur Platte die gleichen Vereinfachungen ( $\nu_{xy} = 0$ ,  $\nu_{xy}^2 = 0$ ) getroffen werden können.

Der Formelsatz für die Berechnung der Koeffizienten der Elastizitätsmatrix der Scheibe lautet damit:

$$\left. \begin{aligned} C_{xx} &= \frac{l_a}{l} E \\ C_{yy} &= \frac{E t^2}{4 h^2 (2R + 3T)} \\ C_{xy} = C_{yx} &= \frac{\nu E t^2}{4 h^2 (2R + 3T)} \\ G_{xy} &= \frac{l}{l_a} G \end{aligned} \right\} (22)$$

Die  $C_{ik}$ -Werte für Platten- und Scheibendeformation für einige übliche Sicken enthält die Tabelle 1.

Sicken verlaufen in x-Richtung der Platte



S60 h = 60mm  
S100 h = 100mm

Sicke 60		Plattenverformungen				Scheibenverformungen			
t (mm)	l (mm)	$\bar{C}_{xx}$	$\bar{C}_{yy}$	$\bar{C}_{xy}$	$\bar{G}_{xy}$	$\bar{C}_{xx}$	$\bar{C}_{yy}$	$\bar{C}_{xy}$	$\bar{G}_{xy}$
4	600	$4,41 \cdot 10^2$	0,897	0,269	0,429	1,115	$1,52 \cdot 10^{-3}$	$4,56 \cdot 10^{-4}$	0,345
	800	$3,61 \cdot 10^2$	0,920	0,276	0,418	1,0865	$2,03 \cdot 10^{-3}$	$6,08 \cdot 10^{-4}$	0,345
5	600	$2,83 \cdot 10^2$	0,897	0,269	0,429	1,115	$2,38 \cdot 10^{-3}$	$7,13 \cdot 10^{-4}$	0,345
	800	$2,32 \cdot 10^2$	0,92	0,276	0,418	1,087	$3,17 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	0,354
6	600	$1,94 \cdot 10^2$	0,897	0,269	0,429	1,115	$3,42 \cdot 10^{-3}$	$1,03 \cdot 10^{-3}$	0,345
	800	$1,60 \cdot 10^2$	0,92	0,276	0,418	1,087	$4,56 \cdot 10^{-3}$	$1,37 \cdot 10^{-3}$	0,354
7	600	$1,42 \cdot 10^2$	0,897	0,269	0,429	1,115	$4,66 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	0,345
	800	$1,16 \cdot 10^2$	0,92	0,276	0,418	1,087	$6,21 \cdot 10^{-3}$	$1,86 \cdot 10^{-3}$	0,354
8	600	$1,09 \cdot 10^2$	0,897	0,269	0,429	1,115	$6,08 \cdot 10^{-3}$	$1,82 \cdot 10^{-3}$	0,345
	800	89,06	0,92	0,276	0,418	1,087	$8,11 \cdot 10^{-3}$	$2,43 \cdot 10^{-3}$	0,354

### Sicke 100

5	600	$8,54 \cdot 10^2$	0,839	0,252	0,459	1,193	$7,06 \cdot 10^{-4}$	$2,12 \cdot 10^{-4}$	0,323
	800	$7,22 \cdot 10^2$	0,874	0,262	0,44	1,144	$9,42 \cdot 10^{-4}$	$2,82 \cdot 10^{-4}$	0,336
6	600	$5,93 \cdot 10^2$	0,839	0,252	0,459	1,193	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$3,05 \cdot 10^{-4}$	0,323
	800	$5,01 \cdot 10^2$	0,874	0,262	0,44	1,144	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$4,07 \cdot 10^{-4}$	0,336
7	600	$4,34 \cdot 10^2$	0,839	0,252	0,459	1,193	$1,38 \cdot 10^{-3}$	$4,15 \cdot 10^{-4}$	0,323
	800	$3,67 \cdot 10^2$	0,874	0,262	0,44	1,144	$1,85 \cdot 10^{-3}$	$5,54 \cdot 10^{-4}$	0,336
8	600	$3,31 \cdot 10^2$	0,839	0,252	0,459	1,193	$1,81 \cdot 10^{-3}$	$5,42 \cdot 10^{-4}$	0,323
	800	$2,8 \cdot 10^2$	0,874	0,262	0,44	1,144	$2,41 \cdot 10^{-3}$	$7,23 \cdot 10^{-4}$	0,336
9	600	$2,61 \cdot 10^2$	0,839	0,252	0,459	1,193	$2,29 \cdot 10^{-3}$	$6,86 \cdot 10^{-4}$	0,323
	800	$2,2 \cdot 10^2$	0,874	0,262	0,44	1,144	$3,05 \cdot 10^{-3}$	$9,15 \cdot 10^{-4}$	0,336
10	600	$2,11 \cdot 10^2$	0,839	0,252	0,459	1,193	$2,82 \cdot 10^{-3}$	$8,47 \cdot 10^{-4}$	0,323
	800	$1,78 \cdot 10^2$	0,874	0,262	0,44	1,144	$3,77 \cdot 10^{-3}$	$1,13 \cdot 10^{-3}$	0,336

Tabelle 1: Koeffizienten der Elastizitätsmatrizen für Platten- und Scheibenverformung  
 $C_{ik} = \bar{C}_{ik} E$ ,  $G_{xy} = \bar{G}_{xy} E$

Literatur:

/1/ Gierkmann, K.

Flächentragwerke  
Springer Verlag Wien

/2/ Fujita, Y.

Zur Festigkeit von Schiffswänden  
aus gefalteten Platten (in japanisch)  
Journal of Zosen Kikai 116 (1964)  
Dezemberheft S. 58 - 68