

BEANSPRUCHUNG DER SCHIFFAUBENHAUT DURCH ÄUßEREN EISDRUCK

Von

Z. DESEÖ

Lehrstuhl für Mechanik, Technische Universität, Budapest

Eingegangen am 12. April, 1977

Vorgelegt von Prof. Dr. P. Michelberger

1. Einleitung

Die Außenhaut eines Schiffes in vereisten Gewässern wird in der Höhe der Wasserlinie mit guter Annäherung linienförmig konzentriert belastet. Siehe Abb. 1.

Die Außenhaut wird durch Seitenstringer untergestützt Abb. 2. Es handelt sich um eine mehrfach unterstützte Platte, bei der sich die Belastung jedes beliebigen Feldes auf die ähnlich belasteten Nachbarfelder auswirkt und somit als entlang der Stützlinie eingespannt betrachtet werden kann. Daß Maß b der Platte in der Stringerrichtung beträgt ein Mehrfaches des Maßes a der Stützweite, $b \gg a$. Deshalb kann die Platte als unendlich lang angenommen werden.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich folglich mit der Berechnung linienförmig belasteter unendlich langer Platten und gibt eine Lösung für den Fall einer an den Rändern eingespannten Platte.

2. An den Rändern gelenkig gelagerte unendlich lange Platten

TIMOSHENKO [1] beschäftigte sich mit an den Rändern gelenkig gelagerten Platten. Die bekannte Gleichung für die isotrope Platte ist

$$\frac{\delta^4 w}{\delta x^4} + 2 \frac{\delta^4 w}{\delta x^2 \cdot \delta y^2} + \frac{\delta^4 w}{\delta y^4} = - \frac{p}{D} \quad (1)$$
$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \quad h = \text{Plattendicke}$$

Abgesehen von der linienförmigen Belastung, wird die Belastung mit $p = 0$ angenommen. Also muss eine Lösung $w(x, y)$ gefunden werden, mit welcher

$$\frac{\delta^4 w}{\delta x^4} + 2 \frac{\delta^4 w}{\delta x^2 \cdot \delta y^2} + \frac{\delta^4 w}{\delta y^4} = 0 \quad (2)$$

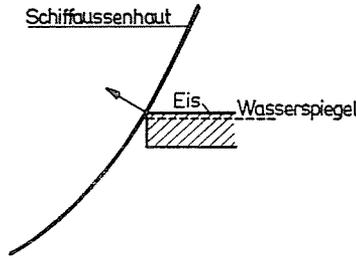


Abb. 1. Art der Eisbelastung

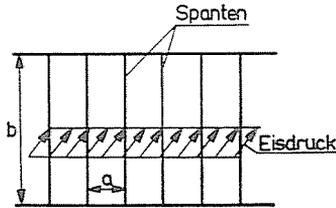


Abb. 2. Verteilung der Eisbelastung

Timoshenko stellte die auf die Symmetrie der x -Achse ausgerichtete Gl. (3) auf, die der Gl. (2) genügt. Siehe Abb. 3.

$$w_0 = \sum_{m=1}^{\infty} C_m \cdot \left[1 + \frac{m \cdot \pi \cdot y}{a} \right] \cdot e^{-\frac{m \cdot \pi \cdot y}{a}} \cdot \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{a} \quad (3)$$

Die entlang der x -Achse wirkende Belastung beschrieb er mit der Fourier-Reihe, Gl. (4):

$$q = \frac{4}{\pi} \cdot q_0 \cdot \sum_{1,3}^{\infty} \frac{1}{m} \cdot \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{a} \quad (4)$$

Berücksichtigt man, dass die Belastung als auf einer entlang der x -Achse in zwei Hälften geteilten Platte gleichmässig verteilt angenommen wird, so ergibt sich:

$$\begin{aligned} Q_{y(y=0)} &= -D \cdot \frac{\delta}{\delta y} \cdot \left[\frac{\delta^2 w}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 w}{\delta y^2} \right] (y=0) \\ &= -\frac{2}{\pi} \cdot q_0 \cdot \sum_{1,3}^{\infty} \frac{1}{m} \cdot \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{a} \end{aligned} \quad (5)$$

Setzt man den Ausdruck w_0 aus Gl. (3) in Gl. (5) ein, so gewinnt man die Konstanten C_m .

$$C_m = \frac{q_0 \cdot a^3}{D \cdot \pi^4 \cdot m^4} \quad (6)$$

Gl. (6) in Gl. (3) eingesetzt, erhält man:

$$w_0 = \frac{q_0 \cdot a^3}{\pi^4 \cdot D} \cdot \sum \cdot \frac{1}{m^4} \left[1 + \frac{m \cdot \pi \cdot y}{a} \right] \cdot e^{-\frac{m \cdot \pi \cdot y}{a}} \cdot \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{a} \quad (7)$$

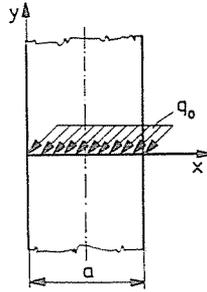


Abb. 3. Das von Timoshenko angewandte Koordinatensystem

Die Biegemomente sind:

$$M_x = -D \cdot \left[\frac{\delta^2 w}{\delta x^2} + \nu \cdot \frac{\delta^2 w}{\delta y^2} \right] \quad (8)$$

$$M_y = -D \cdot \left[\frac{\delta^2 w}{\delta y^2} + \nu \cdot \frac{\delta^2 w}{\delta x^2} \right] \quad (9)$$

Wird es für $w = w_0$ eingesetzt, erhält man:

$$M_x = \frac{q_0 \cdot a}{\pi^2} \cdot \sum \left\{ \frac{1}{m^2} \left[\left(1 + \frac{m \cdot \pi \cdot y}{a} \right) + \nu \cdot \left(1 - \frac{m \cdot \pi \cdot y}{a} \right) \right] \cdot e^{-\frac{m \pi y}{a}} \cdot \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{a} \right\} \quad (10)$$

$$M_y = \frac{q_0 \cdot a}{\pi^2} \cdot \sum \left\{ \frac{1}{m^2} \left[\left(1 - \frac{m \cdot \pi \cdot y}{a} \right) + \nu \cdot \left(1 + \frac{m \cdot \pi \cdot y}{a} \right) \right] \cdot e^{-\frac{m \pi y}{a}} \cdot \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{a} \right\} \quad (11)$$

Die Biegemomente in Plattenmitte sind:

$$x = a/2 \quad y = 0$$

$$M_x = M_y = \frac{q_0 \cdot a}{\pi^2} \cdot (1 + \nu) \cdot \sum_{1,3,5} \frac{-1^{(m-1)/2}}{m^2} \quad (12)$$

Wird die Gl. (12) ausgewertet, so ergibt es sich, daß bei einer an den Rändern freigestützten Platte die maximalen Momente in der Plattenmitte auftreten ($\nu = 0,3$ angenommen):

$$M_x = M_y = 0,1200 \cdot q_0 \cdot a \quad (13)$$

3. Berechnung der Stützmente

Die durch die Stützmente auftretende Deformation muß durch eine Funktion $w_1(x, y)$ beschrieben werden, die auch der Differentialgl. (2) genügt, den q_0 -Wert entlang der x -Achse nicht verfälscht, und von w_0 unabhängig ist. Zur Lösung von ähnlichen Aufgaben (Punktlast) verwendeten HOLL [2] und PUCHER [3] ein Polynom. In der vorliegenden Arbeit wird die von dem Verfasser [4], [5] und [6] ausgearbeitete Polynomlösung verwendet. Durch den günstigen Aufbau der Gl. (14) lassen sich sowohl die Integralkonstanten bestimmen, wie auch die Randbedingungen gut beschreiben.

$$w_1 = \sum_{k=0}^n a_k \cdot x^k \quad (14)$$

$$a_k = a_k(y) = \sum \alpha_{ki} \cdot y^i \quad (15)$$

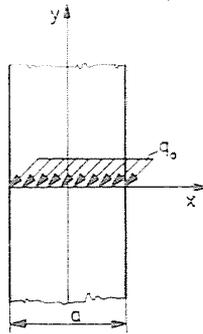


Abb. 4. Das für die Lösung des Polynoms angewandte Koordinatensystem

Zur besseren Ausnutzung der Symmetrie ist es zweckmäßig, die y -Achse in Abb. 3 und den Wert $a/2$ zu verschieben und in der Mittellinie der Platte anzunehmen. Siehe Abb. 4. So sind der Symmetrie entsprechend nur die geradzahligen Lösungen anzuschreiben ($k = 0, 2, 4, 6, 8, 10$).

Im Vergleich zu den Beschreibungen in [4], [5] und [6] erweiterten wir die Lösung auf $n = 10$. So erhält man die folgenden $a_k(y)$ -Polynome. Ihre Ableitung geben wir hier nicht an, da sie in der diesbezüglichen Literatur zu finden ist.

$$a_{10} = \alpha_{100} + \alpha_{101} \cdot y$$

$$a_8 = \alpha_{80} + \alpha_{81} \cdot y + \alpha_{82} \cdot y^2 + \alpha_{83} \cdot y^3$$

$$a_6 = \alpha_{60} + \alpha_{61} \cdot y + \alpha_{62} \cdot y^2 + \alpha_{63} \cdot y^3 - \left(\frac{28}{3} \cdot \alpha_{82} + 210 \cdot \alpha_{100} \right) \cdot y^4 - \left(\frac{28}{5} \cdot \alpha_{83} + 42 \cdot \alpha_{101} \right) \cdot y^5$$

$$\begin{aligned}
a_4 &= \alpha_{40} + \alpha_{41} \cdot y + \alpha_{42} \cdot y^2 + \alpha_{43} \cdot y^3 - (5 \cdot \alpha_{62} \\
&\quad + 70\alpha_{80}) \cdot y^4 - (3 \cdot \alpha_{63} + 14 \cdot \alpha_{81}) \cdot y^5 + (14 \cdot \alpha_{82} \\
&\quad + 420 \cdot \alpha_{100}) \cdot y^6 + 6 \cdot (\alpha_{83} + 60 \cdot \alpha_{101}) \cdot y^7 \\
a_2 &= \alpha_{20} + \alpha_{21} \cdot y + \alpha_{22} \cdot y^2 + \alpha_{23} \cdot y^3 - (2 \cdot \alpha_{42} \\
&\quad + 15 \cdot \alpha_{60}) \cdot y^4 - \left(\frac{6}{5} \cdot \alpha_{43} + 3 \cdot \alpha_{61} \right) \cdot y^5 + (3 \cdot \alpha_{62} \\
&\quad + 56 \cdot \alpha_{80}) \cdot y^6 + \left(\frac{9}{7} \alpha_{63} + 8 \cdot \alpha_{81} \right) \cdot y^7 - (4 \cdot \alpha_{82} \\
&\quad + 135 \cdot \alpha_{100}) \cdot y^8 - \left(\frac{4}{3} \cdot \alpha_{83} + 15 \cdot \alpha_{101} \right) \cdot y^9 \\
a_0 &= \alpha_{00} + \alpha_{01} \cdot y + \alpha_{02} \cdot y^2 + \alpha_{03} \cdot y^3 - \left(\frac{1}{3} \cdot \alpha_{22} + \alpha_{40} \right) \cdot y^4 \\
&\quad - \left(\frac{1}{5} \cdot \alpha_{23} + \frac{1}{5} \cdot \alpha_{41} \right) \cdot y^5 + \left(\frac{1}{5} \cdot \alpha_{42} + 2 \cdot \alpha_{60} \right) \cdot y^6 \\
&\quad + \left(\frac{3}{35} \cdot \alpha_{43} + \frac{2}{7} \cdot \alpha_{61} \right) \cdot y^7 - \left(\frac{1}{7} \cdot \alpha_{62} + 3 \cdot \alpha_{80} \right) \cdot y^8 \\
&\quad - \left(\frac{1}{21} \cdot \alpha_{63} + \frac{1}{3} \cdot \alpha_{81} \right) \cdot y^9 + \left(\frac{1}{9} \cdot \alpha_{82} + 4 \cdot \alpha_{100} \right) \cdot y^{10} \\
&\quad + \left(\frac{1}{35} \cdot \alpha_{83} + \frac{4}{11} \cdot \alpha_{101} \right) \cdot y^{11}
\end{aligned} \tag{16}$$

Setzen wir die Gl. (16) in Gl. (14) ein und ordnen die Gleichung nach y , so ergibt sich für w_1 die Gl. (17):

$$\begin{aligned}
w_1 &= \alpha_{00} + \alpha_{20} \cdot x^2 + \alpha_{40} \cdot x^4 + \alpha_{60} \cdot x^6 + \alpha_{80} \cdot x^8 \\
&\quad + \alpha_{100} \cdot x^{10} + (\alpha_{01} + \alpha_{21} \cdot x^2 + \alpha_{41} \cdot x^4 + \alpha_{61} \cdot x^6 \\
&\quad + \alpha_{81} \cdot x^8 + \alpha_{101} \cdot x^{10})y \\
&\quad + (\alpha_{02} + \alpha_{22} \cdot x^2 + \alpha_{42} \cdot x^4 + \alpha_{62} \cdot x^6 + \alpha_{82} \cdot x^8) \cdot y^2 \\
&\quad + (\alpha_{03} + \alpha_{23} \cdot x^2 + \alpha_{43} \cdot x^4 + \alpha_{63} \cdot x^6 + \alpha_{83} \cdot x^8) \cdot y^3 \\
&\quad - \left(\frac{1}{3} \cdot \alpha_{22} + \alpha_{40} + 2\alpha_{42} \cdot x^2 + 15 \cdot \alpha_{60} \cdot x^2 + 5 \cdot \alpha_{62} \cdot x^4 \right. \\
&\quad \left. + 70 \cdot \alpha_{80} \cdot x^4 + \frac{28}{3} \cdot \alpha_{82} \cdot x^6 + 210 \cdot \alpha_{100} \cdot x^6 \right) \cdot y^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \left(\frac{1}{5} \cdot \alpha_{23} + \frac{1}{5} \cdot \alpha_{41} + \frac{6}{5} \cdot \alpha_{43} \cdot x^2 + 3 \cdot \alpha_{61} \cdot x^2 \right. \\
& + 3 \cdot \alpha_{63} \cdot x^4 + 14 \cdot \alpha_{81} \cdot x^4 + \frac{28}{5} \cdot \alpha_{83} \cdot x^6 + 42 \cdot \alpha_{101} x^6 \left. \right) \cdot y^5 \\
& + \left(\frac{1}{5} \cdot \alpha_{42} + 2 \cdot \alpha_{60} + 3\alpha_{62} \cdot x^2 + 56 \cdot \alpha_{80} \cdot x^2 + 14 \cdot \alpha_{82} \cdot x^4 \right. \\
& + 420 \cdot \alpha_{100} \cdot x^4 \left. \right) \cdot y^6 + \left(\frac{3}{35} \cdot \alpha_{43} + \frac{2}{7} \cdot \alpha_{61} + \frac{9}{7} \cdot \alpha_{63} \cdot x^2 \right. \\
& + 8 \cdot \alpha_{81} \cdot x^2 + 6 \cdot \alpha_{83} \cdot x^4 + 60 \cdot \alpha_{101} \cdot x^4 \left. \right) \cdot y^7 \\
& - \left(\frac{1}{7} \cdot \alpha_{62} + 3 \cdot \alpha_{80} + 4 \cdot \alpha_{82} \cdot x^2 + 135 \cdot \alpha_{100} \cdot x^2 \right) \cdot y^8 \\
& - \left(\frac{1}{21} \cdot \alpha_{63} + \frac{1}{3} \cdot \alpha_{81} + \frac{4}{3} \cdot \alpha_{83} \cdot x^2 + 15 \cdot \alpha_{101} \cdot x^2 \right) \cdot y^9 \\
& + \left(\frac{1}{9} \cdot \alpha_{82} + 4 \cdot \alpha_{100} \right) \cdot y^{10} + \left(\frac{1}{33} \cdot \alpha_{83} + \frac{4}{11} \cdot \alpha_{101} \right) \cdot y^{11} \quad (17)
\end{aligned}$$

Als Bedingung für die Bestimmung der α -Integralkonstanten gilt, daß die Ränder entlang keine Durchbiegung und an den Stellen, wo die Platte eingespannt ist, keine Verdrehung auftritt. Folglich wird

$$\begin{aligned}
x &= \pm \frac{a}{2} \quad w_1 \equiv 0 \\
\frac{\delta w_1}{\delta x} + \frac{\delta w_0}{\delta x} &= 0 \quad (18)
\end{aligned}$$

Für die zweite Bedingung von (18) müssen die Funktion $\partial w_0/\partial x$ bzw. das die Funktion ersetzende Polynom bestimmt werden. Deriviert man nach x in Gl. (3), so erhält man im Falle von $x = a/2$ die Gleichung:

$$\frac{\delta w_0}{\delta x} = -\frac{q_0 \cdot a^2}{\pi^3 D} \cdot \sum \frac{1}{m^3} \left[1 + \frac{m \cdot \pi \cdot y}{a} \right] \cdot e^{-\frac{m \cdot \pi \cdot y}{a}} \quad (19)$$

zur Befriedigung der Bedingung (18) durch ein Polynom ersetzt werden muß.

$$\begin{aligned}
-\frac{\delta w_0}{\delta x} &= c_0 + c_1 \cdot y + c_2 \cdot y^2 + c_3 \cdot y^3 + c_4 \cdot y^4 \\
&+ c_5 \cdot y^5 + c_6 \cdot y^6 + c_7 \cdot y^7 + c_8 \cdot y^8 \quad (20)
\end{aligned}$$

Wir setzten Gl. (17) und (20) in Bed. (18) ein und vergleichen die Beiwerte miteinander. Dadurch gewinnen wir das in Abb. 5. gezeigte lineare Gleichungs-

	*	α_{00}	=	0
		α_{01}	=	0
		α_{02}	=	0
		α_{03}	=	0
		α_{20}	=	C ₀
		α_{21}	=	C ₁
		α_{40}	=	0
		α_{41}	=	0
		α_{22}	=	C ₂
		α_{23}	=	C ₃
		α_{42}	=	C ₄
		α_{60}	=	0
		α_{43}	=	C ₅
		α_{61}	=	0
		α_{62}	=	C ₆
		α_{80}	=	0
		α_{63}	=	C ₇
		α_{81}	=	0
		α_{82}	=	C ₈
		α_{100}	=	0
		α_{83}	=	C ₉
		α_{101}	=	0

Abb. 5. Das Schema der Gleichungssysteme für die Lösung der Konstanten

system für die α -Beiwerte. Es werden nur die Beiwerte mit geradzahigen Indexen bestimmt, weil nur diese zur Bestimmung der Momente benötigt werden.

$$\alpha_{100} = \frac{1}{9 \cdot a} \cdot c_8 \quad \alpha_{82} = -\frac{4}{a} \cdot c_8$$

$$\alpha_{80} = -\frac{1}{7 \cdot a} \cdot c_6 + \frac{a}{12} \cdot c_8 \quad \alpha_{62} = \frac{3}{a} \cdot c_6$$

$$\alpha_{42} = -\frac{2}{a} \cdot c_4 - \frac{5 \cdot a}{4} \cdot c_6 + \frac{49 \cdot a^3}{6} \cdot c_8$$

$$\alpha_{60} = \frac{1}{5 \cdot a} \cdot c_4 - \frac{133}{120} \cdot a^3 \cdot c_8$$

$$\alpha_{22} = \frac{1}{a} \cdot c_2 + a \cdot c_4 + \frac{a^3}{16} \cdot c_6 - \frac{23 \cdot a^5}{6} \cdot c_8$$

$$\alpha_{40} = -\frac{1}{4 \cdot a} \cdot c_2 + \frac{7}{24} \cdot a^3 \cdot c_6 + \frac{347}{288} \cdot a^5 \cdot c_8$$

$$\alpha_{20} = \frac{1}{a} \cdot c_0 + \frac{a}{8} \cdot c_2 - \frac{3}{80} a^3 \cdot c_4 - \frac{23}{168} \cdot a^5 \cdot c_6$$

$$-\frac{4631}{11520} \cdot a^7 \cdot c_8$$

$$\alpha_{02} = -\frac{a}{4} \cdot c_2 - \frac{a^3}{8} \cdot c_4 + \frac{a^5}{64} \cdot c_6 + \frac{89}{192} \cdot a^7 \cdot c_8$$

$$z_{60} = -\frac{a}{4} \cdot c_0 - \frac{a^3}{64} \cdot c_2 + \frac{a^5}{160} \cdot c_4 + \frac{121}{7168} \cdot a^7 \cdot c_6 + \frac{1939}{46080} \cdot a^9 \cdot c_8 \quad (21)$$

Da der Aufbau des Gleichungssystemes fast orthogonal verläuft, sind Systeme mit höchstens 2 Unbekannten zu lösen. Eine weitere Vereinfachung besteht darin, daß die Beiwerte mit geradzahigen Indexen unabhängig von denen mit ungeradzahigen Indexen gelöst werden können. Jetzt können schon die Momentenausdrücke angeschrieben werden, wenn w_1 in die Gl. (8) bzw. (9) eingesetzt wird.

$$a) \quad x = \frac{a}{2}, \quad y = 0,$$

$$M_x = M_{1x} = -D \cdot \left[2 \cdot z_{20} + 3 \cdot z_{40} \cdot a^2 + \frac{15}{8} \cdot z_{60} + \frac{7}{8} \cdot z_{80} \cdot a^6 + \frac{45}{128} \cdot z_{100} \cdot a^8 \right] \quad (22)$$

Gl. (21) in die z -Werte eingesetzt, ergibt für

$$M_x = -\frac{D}{a} \cdot \left[2 \cdot c_0 - \frac{a^2}{2} \cdot c_2 + \frac{3 \cdot a^4}{10} \cdot c_4 + \frac{10 \cdot a^6}{21} \cdot c_6 + \frac{4024}{5760} \cdot a^8 \cdot c_8 \right] \quad (23)$$

$$b) \quad x = 0, \quad y = 0,$$

$$M_x = M_{0x} + M_{1x} = 0,1200 \cdot q_0 \cdot a - D \cdot [2 \cdot z_{20} + \nu \cdot 2 \cdot z_{02}] \quad (24)$$

Die z -Werte eingesetzt ergibt für

$$M_x = 0,1200 \cdot q_0 \cdot a - \frac{D}{a} \cdot \left[2 \cdot c_0 + \frac{a^2}{2} \cdot \left[\frac{1}{2} - \nu \right] \cdot c_2 - \frac{a^4}{4} \cdot \left[\frac{3}{10} + \nu \right] \cdot c_4 - \frac{a^6}{4} \cdot \left[\frac{23}{21} - \frac{\nu}{8} \right] \cdot c_6 - \frac{a^8}{96} \cdot \left[\frac{4631}{60} - 89 \cdot \nu \right] \cdot c_8 \right] \quad (25)$$

$$\nu = 0,3$$

$$M_x = 0,1200 \cdot q_0 \cdot a - \frac{D}{a} \cdot [2 \cdot c_0 + 0,1 \cdot a^2 \cdot c_2 - 0,15 \cdot a^4 \cdot c_4 - 0,264435 \cdot a^6 \cdot c_6 - 0,525868 \cdot a^8 \cdot c_8] \quad (25,a)$$

$$M_y = M_{0y} + M_{1y} = 0.1200 \cdot q_0 \cdot a - D \cdot [2 \cdot \alpha_{02} + \nu \cdot 2 \cdot \alpha_{20}] \quad (26)$$

$$M_y = 0.1200 \cdot q_0 \cdot a - \frac{D}{a} \cdot \left[2 \cdot \nu \cdot c_0 - \frac{a^2}{2} \cdot \left[1 - \frac{\nu}{2} \right] \cdot c_2 - \frac{a^4}{4} \cdot \left[1 + \frac{3 \cdot \nu}{10} \right] \cdot c_4 + \frac{a^6}{4} \cdot \left[\frac{1}{8} - \frac{23}{21} \cdot \nu \right] \cdot c_6 + \frac{a^8}{96} \cdot \left[89 - \frac{4631}{60} \cdot \nu \right] \cdot c_8 \right] \quad (27)$$

$$\nu = 0.3$$

$$M_y = 0.1200 \cdot q_0 \cdot a - \frac{D}{a} \cdot [0.6 \cdot c_0 - 0.425 \cdot a^2 \cdot c_2 - 0.2725 \cdot a^4 \cdot c_4 - 0.050893 \cdot a^6 \cdot c_6 + 0.685885 \cdot a^8 \cdot c_8] \quad (27.a)$$

4. Beschreibung der Randbedingungen

Die Gl. (19) ist zur Funktion $y = 0$ unsymmetrisch wobei jedoch nur der Abschnitt $y > 0$ gültig ist. Wegen der entlang der x -Achse wirkenden Belastung wurden auch die ungeradzahigen Glieder mit einbegriffen. Gl. (19) muß jedoch durch eine geradzahlige Funktion ersetzt werden, weil die der Wirklichkeit entspricht, und die ungeradzahigen Glieder nur die q_0 -Werte entlang der x -Achse verfälschen würden. Das die Gl. (19) ersetzende Polynom kann also nicht durch ein Taylor-Polynom ausgedrückt werden. Das die Gl. (19) beschreibende Polynom wird nach dem Prinzip des min. Fehlerquadrates bestimmt. Zur Aufnahme der Punkte dieser Funktion müssen 2 Bedingungen möglichst gut erfüllt werden. Erstens muß die Punktdichte im Bereich von $x = 0$ so erhöht werden, daß hier der Ersatz der beste sei, gegen Ende des Abschnittes kann sie sich allmählich verschlechtern, aber nicht allzu sehr. Zweitens muß die Länge des Ersatzabschnittes so bestimmt werden, daß der Beiwert c_{10} vernachlässigbar klein sei. Somit kommt es durch die Anwendung der bis zum achten Grad ausgearbeiteten Ausdrücke (25), (26) und (27) zu keiner größeren Vernachlässigung.

Nach mehreren Versuchen wählten wir das unten beschriebene Polynom.

$$\left(\frac{\delta w}{\delta x} \right)_{(x=a/2)} = \frac{q_0 \cdot a^2}{\pi^3 \cdot D} \left(0.9688 - 2.262936 \cdot \frac{y^2}{a^2} + 2.533250 \cdot \frac{y^4}{a^4} - 1.368865 \cdot \frac{y^6}{a^6} + 0.340661 \cdot \frac{y^8}{a^8} - 0.031289 \cdot \frac{y^{10}}{a^{10}} \right) \quad (28)$$

Den Abschnitt dehnten wir auf eine Länge von $y = 2 \cdot a$ aus. Tabelle 1 beinhaltet die gewählten Punkte und die dazugehörigen genauen Werte sowie die Werte der Gl. (28). Um im Bereich von $y = 0$ das Gewicht zu erhöhen,

schrieben wir c_0 vor, und die zu $\eta = 0,05$ und $0,1$ gehörenden Werte nahmen wir zwischen den Punkten zweimal auf. Abb. 6 zeigt den Verlauf der Gl. (19) und des Ersatzes (20).

Tabelle I

Vergleich der Funktionen (19) und (28)

$\eta = y/a$	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
$A \cdot \delta w/\delta x$	0,9688	0,9602	0,936	0,899	0,854	0,803	0,753
Polynom	0,9688	0,9631	0,946	0,919	0,882	0,837	0,785
$\eta = y/a$	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80
$A \cdot \delta w/\delta x$	0,694	0,638	0,584	0,532	0,437	0,355	0,285
Polynom	0,727	0,666	0,604	0,541	0,424	0,326	0,253
$\eta = y/a$	0,90	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
$A \cdot \delta w/\delta x$	0,226	0,179	0,110	0,066	0,040	0,023	0,014
Polynom	0,206	0,179	0,147	0,081	0,003	0,041	0,011

$$A = \frac{\pi^3 \cdot D}{q_0 \cdot a^2}$$

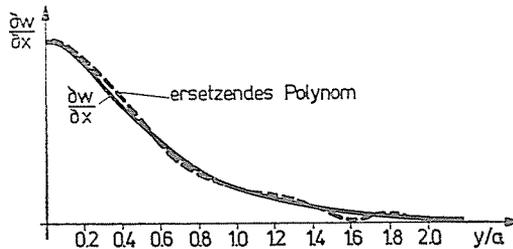


Abb. 6. Vergleich der Originalfunktionen mit den Polynomen

Die Beiwerte aus (28) in die Gl. (23), (25) und (27) eingesetzt, ergeben sich die folgenden Momente:

$$M_{x(x=al/2, y=0)} = -01101 \cdot a \cdot q$$

$$M_{x(x=0, y=0)} = 0.0712 \cdot a \cdot q \quad (30)$$

$$M_{y(x=0, y=0)} = 0.0828 \cdot a \cdot q \quad (31)$$

Zusammenfassung

Das Ungarische Schiff- und Kranbauwerk, Betriebsteil Óbuda baut in erster Linie Schiffe für die Binnenschifffahrt in der Sowjetunion, welche auch auf Gewässern mit nicht zusammenhängender, loser Eisdecke fahren. Das USKW bekam aber auch einen Auftrag für ein Schiff, welches unter besonders schweren Eisverhältnissen (zusammenhängende, feste

Eisdecke) arbeiten soll. Da für diese Ansprüche die Registervorschriften nicht ausreichend sind, mußte der Hersteller die Berechnungen selbst durchführen.

Für die Bemessung der dem Eisdruck ausgesetzten Platten lag keine entsprechende Literatur vor, deshalb wird die in diesem Beitrag vorgelegte Arbeit durchgeführt.

Literatur

1. TIMOSHENKO, S.: Lemezek és héjak elmélete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1966.
2. HOLL, D.: Analysis of thin rectangular plates, supported on opposite edges. Iowa Engineering Experiment Station. 1936.
3. PUCHER, A.: Ing. Arch. 12, 76 (1941).
4. DESEŐ, Z.: Műszaki Tájékoztató MHD. 2, 41 (1974).
5. DESEŐ, Z.: Periodica polytechnica. 2, 61 (1974).
6. DESEŐ, Z.: Schiff und Hafen. 10, 1015 (1976).

Dr. Zoltán DESEŐ 1145 Budapest, Szugló u. 27. Ungarn.