

Die Lösung des Systems simultaner partieller Differentialgleichungen zur statischen Analyse konstruktiv orthotroper Faltwerkselemente

Dipl.-Ing. Andreas Reichelt, Dipl.-Ing. Carsten Lindorf

0. Einleitung

Trotz vielfältiger Berechnungsverfahren bleibt auch gegenwärtig die statische Analyse versteifter ebener Flächentragwerke nicht problemlos. Die Beschreibung der Plattentragwirkung mit Hilfe der HUBERschen Differentialgleichung [2] trifft bei der Bestimmung der Drillsteifigkeiten auf Schwierigkeiten; auch werden ausmittig (nichtsynchron) angeschlossene Steifen unzureichend erfaßt. Ist das zu untersuchende Bauelement gleichzeitig Bestandteil einer räumlichen Konstruktion (z. B. orthotrope Fahrbahntafel eines Brückenüberbaus), unterliegt es neben lokalen auch Beanspruchungen aus der Gesamttragwirkung. Die Berechnung derartiger Konstruktionen als Stabtragwerke trifft auf mehrere Widersprüche, deren Lösung nur durch veränderte Rechenmodelle zu erwarten ist.

Neben den umfangreich einsetzbaren diskreten Modellen (z. B. [3]) verdient vor allem die strenge Faltwerkstheorie nach Rüdiger [1], u. a. für die Behandlung von Lastenleitungsproblemen, Aufmerksamkeit. Ziel der

vorliegenden Arbeit ist es, ein konstruktiv orthotropes Faltwerkselement zu entwickeln, welches bei der Lösung des Zusammenhangsproblems im Rahmen der Faltwerkstheorie (vgl. [4]) analog den bekannten isotropen Elementen behandelt werden kann.

1. Differentialgleichungssystem und getroffene Annahmen

Wesentliches Merkmal des konstruktiv orthotropen Faltwerkselementes (Bild 1) ist die Kopplung zwischen Platten- und Scheibentragwirkung für den allgemeinen Fall. Derartige, zunächst ebene Tragwerke wurden von Pflüger [5], Trenks [6], Gienke [7] und Henning [8] behandelt, wobei die Beschreibung der Tragwirkung durch ein System simultaner partieller Differentialgleichungen [7] dem prinzipiellen Vorgehen bei der strengen Faltwerkstheorie entspricht:

$$\frac{\Phi^{IV}}{D_{22}} + \frac{\Phi'''}{D_{33}^*} + \frac{\Phi''}{D_{11}} - \frac{D_{12}}{D_{22}} e_x w^{IV} +$$

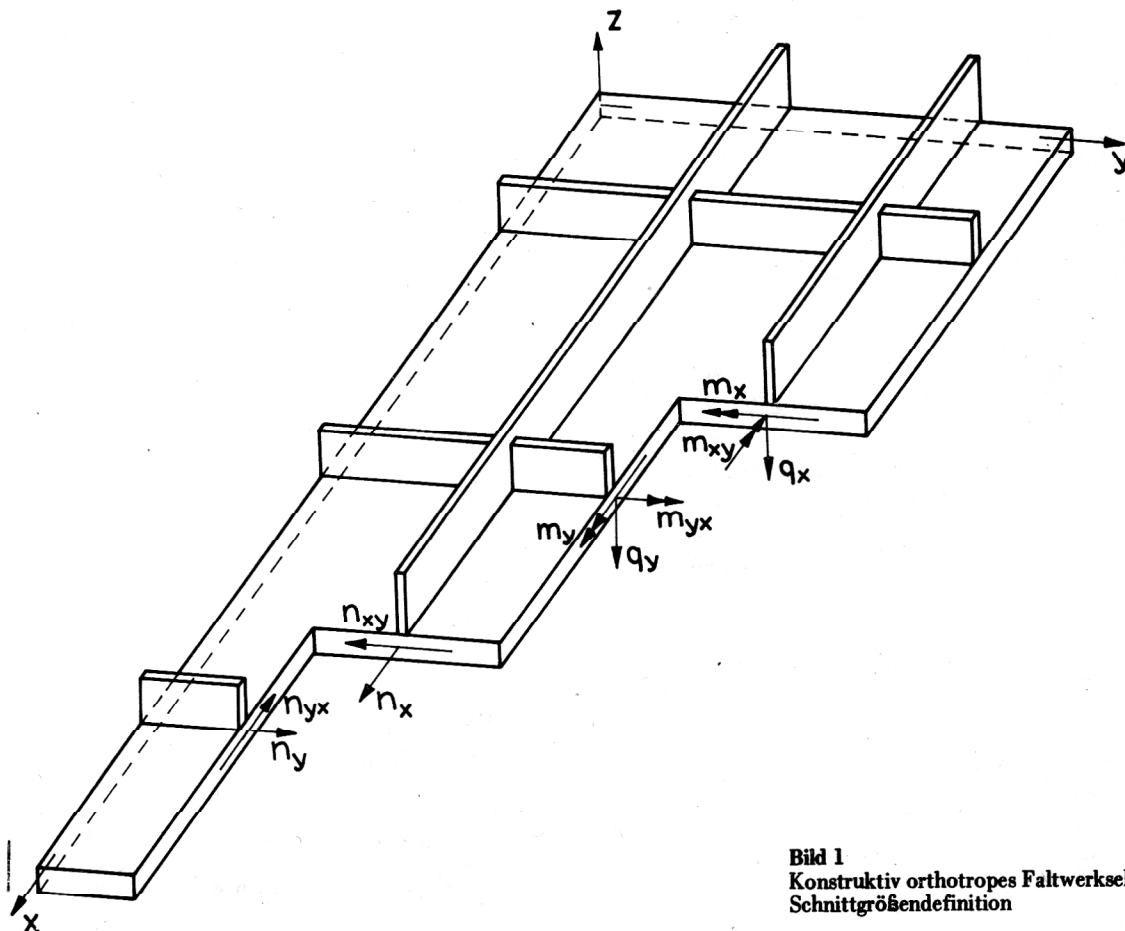


Bild 1
Konstruktiv orthotropes Faltwerkselement mit Schnittgrößendefinition

$$+(e_x + e_y) w'''' - \frac{D_{12}}{D_{11}} e_y w'''' = 0$$

$$\bar{B}_{11}^* w^{IV} + 4B_{33}^* w'''' + \bar{B}_{22}^* w'''' + \frac{D_{12}}{D_{22}} e_x \Phi^{IV} - (e_x + e_y) \Phi'''' + \frac{D_{12}}{D_{11}} e_y \Phi'''' = q^* \quad (1)$$

Hierin bedeuten

w Plattendurchbiegung

Φ AIRYsche Spannungsfunktion

D Dehnsteifigkeiten (vgl. [4] und auch [8])

B Biegesteifigkeiten

e Steifenausmittigkeit

$$q^* = q \left(1 - \frac{D_{12}^2}{D_{11} D_{22}}\right) \text{ mit } q \text{ als Flächenlast}$$

Mit der Beschreibung des Faltwerkselementes durch (1) sind folgende Annahmen für das Tragverhalten getroffen:

- Die Steifen sind orthogonal zueinander, parallel zu den Elementrändern angeordnet und weisen geringe (gleich große) Abstände untereinander auf
- einachsiger linearer Spannungszustand in den Steifen, ebener Spannungszustand in der Tafel
- linearer Spannungsverlauf über die Dicke der Tafel
- stetiger Verlauf der Dehnungen über die Querschnittshöhe (einschließlich gleichgroßer Dehnungen von Tafel und Steifen an den Berührungskanten)
- Schubkraftübertragung nur durch die Tafel
- keine Verformungsbehinderungen zwischen Längs- und Quersteifen
- Vernachlässigung des Wölbwiderstandes der Steifen

Alle Schnittgrößen und Verschiebungen sind aufgrund der differentiellen und integralen Beziehungen durch die Lösungsfunktionen w und Φ darstellbar.

2. Lösungsansatz und charakteristische Gleichung

Der in [8] aufgezeigte Lösungsweg unter Verwendung doppelter Fourier-Reihen erlaubt ausschließlich die Behandlung der allseitig gelenkig gelagerten konstruktiv orthotropen Platte. Da für ein Faltwerkselement die Randbedingungen in den Kanten $y = 0$ und $y = b$ frei wählbar sein müssen, werden Lösungsansätze mit einfachen Fourier-Reihen für die homogenen Differentialgleichungen gewählt:

$$\bar{\Phi} = \sum_{i_R=1}^{n_R} C_{\Phi} e^{\lambda \alpha (y+y_R)} \sin \alpha x \quad (2)$$

$$\bar{w} = \sum_{i_R=1}^{n_R} C_w e^{\lambda \alpha (y+y_R)} \sin \alpha x \quad (3)$$

$$\text{mit } \alpha = \frac{i_R \pi}{L}$$

$$\text{und } y_R = \begin{cases} 0 & \text{für } \lambda < 0 \\ -b & \text{für } \lambda > 0 \end{cases}$$

Damit werden an den Rändern $x = 0$ und $x = L$ generell Endschotte, die in ihrer Ebene starr, jedoch nicht wölbbehindernd wirken, vorausgesetzt. Die Wahl der Randwerte y_R erfolgt unter dem Blickwinkel einer numerisch stabilen Lösung für hohe Reihenglieder bzw. breite Elemente [9].

Durch Einsetzen von (2) und (3) in das homogene Differentialgleichungssystem erhält man

$$\left[\frac{1}{D_{22}} - \frac{\lambda^2}{D_{33}^*} + \frac{\lambda^4}{D_{11}} \right] C_{\Phi} - \left[\frac{D_{12}}{D_{22}} e_x + (e_x + e_y) \lambda^2 + \frac{D_{12}}{D_{11}} e_y \lambda^4 \right] C_w = 0 \quad (4)$$

$$\left[\frac{D_{12}}{D_{22}} e_x + (e_x + e_y) \lambda^2 + \frac{D_{12}}{D_{11}} e_y \lambda^4 \right] C_{\Phi} + \left[\bar{B}_{11}^* - 4B_{33}^* \lambda^2 + \bar{B}_{22}^* \lambda^4 \right] C_w = 0$$

Aus der Bedingung, daß nichttriviale Lösungen für C_w und C_{Φ} nur dann entstehen, wenn die Determinante von (4) gleich Null ist, läßt sich die charakteristische Gleichung achten Grades zur Bestimmung der Wurzeln λ reihengliedunabhängig formulieren:

$$\left[\frac{1}{D_{22}} - \frac{\lambda^2}{D_{33}^*} + \frac{\lambda^4}{D_{11}} \right] \cdot \left[\bar{B}_{11}^* - 4B_{33}^* \lambda^2 + \bar{B}_{22}^* \lambda^4 \right] + \left[\frac{D_{12}}{D_{22}} e_x + (e_x + e_y) \lambda^2 + \frac{D_{12}}{D_{11}} e_y \lambda^4 \right]^2 = 0 \quad (5)$$

Entsprechend lauten die Lösungsfunktionen

$$\Phi = \sum_{i_R=1}^{n_R} \left\{ \Phi_0 + \sum_{k=1}^8 C_{\Phi}(k) \cdot e^{\lambda(k)\alpha(y+y_R)} \right\} \sin \alpha x \quad (6)$$

$$w = \sum_{i_R=1}^{n_R} \left\{ w_0 + \sum_{k=1}^8 C_w(k) \cdot e^{\lambda(k)\alpha(y+y_R)} \right\} \sin \alpha x \quad (7)$$

bzw. in Matrixschreibweise ¹⁾ für ein Reihenglied i_R der Fourier-Reihe

$$\Phi = \left\{ \Phi_0 + C_{\Phi}^T \cdot \text{EXP} \right\} \text{EN} \cdot \text{TRG} \quad (8)$$

$$w = \left\{ w_0 + C_w^T \cdot \text{EXP} \right\} \text{EN} \cdot \text{TRG} \quad (9)$$

mit $\text{EN} = [1 \ 0]$

$$\text{TRG}^T = [\sin \alpha x \quad \cos \alpha x]$$

1) Sofern mehrere fettgedruckte Großbuchstaben nicht durch das explizit aufgeführte Multiplikationszeichen getrennt sind, handelt es sich jeweils nur um eine Matrix.

Der Vektor EXP repräsentiert das Fundamentalsystem (im allgemeinen Fall acht linear unabhängige Lösungen) des Differentialgleichungssystems. Je nach Konstruktionsart treten die Wurzeln der charakteristischen Gleichung (5) reell, komplex oder doppelt auf, woraus sich entsprechend die Elemente des Vektors EXP ergeben.

3. Differentiationsmatrizen

Zur Ermittlung der statischen und kinematischen Größen sind im folgenden deren differentielle Abhängigkeiten von den Lösungsfunktionen Φ und w zu betrach-

ten. Im vorliegenden Falle gelingt es, Differentiationen und Integrationen mit Hilfe einfacher Matrizenoperationen zu realisieren, da sich Ableitungen der e-Funktionen als Elemente von EXP wieder als Linearkombinationen der selben Funktionen bilden lassen:

$$\frac{d^g}{dy^g} \text{EXP} = \text{MY}^g \cdot \text{EXP} \quad (10)$$

Für die zu untersuchenden Fälle entsprechend den Wurzeln von (5) bauen sich die Ableitungsmatrizen MY aus folgenden Submatrizen auf:

$$\frac{d^g}{dy^g} \begin{bmatrix} e^{\lambda_1 \alpha (y-b)} \\ e^{\lambda_2 \alpha (y-b)} \\ e^{-\lambda_1 \alpha y} \\ e^{-\lambda_2 \alpha y} \end{bmatrix} = \alpha^g \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e^{\lambda_1 \alpha (y-b)} \\ e^{\lambda_2 \alpha (y-b)} \\ e^{-\lambda_1 \alpha y} \\ e^{-\lambda_2 \alpha y} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\frac{d^g}{dy^g} \begin{bmatrix} e^{\lambda_1 \alpha (y-b)} \\ \lambda_1 \alpha (y-b) e^{\lambda_1 \alpha (y-b)} \\ e^{-\lambda_1 \alpha y} \\ -\lambda_1 \alpha y e^{-\lambda_1 \alpha y} \end{bmatrix} = \alpha^g \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_1 & \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda_1 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda_1 & -\lambda_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e^{\lambda_1 \alpha (y-b)} \\ \lambda_1 \alpha (y-b) e^{\lambda_1 \alpha (y-b)} \\ e^{-\lambda_1 \alpha y} \\ -\lambda_1 \alpha y e^{-\lambda_1 \alpha y} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\frac{d^g}{dy^g} \begin{bmatrix} \cos [\lambda_2 \alpha (y-b)] \cdot e^{\lambda_1 \alpha (y-b)} \\ \sin [\lambda_2 \alpha (y-b)] \cdot e^{\lambda_1 \alpha (y-b)} \\ \cos [\lambda_2 \alpha y] \cdot e^{-\lambda_1 \alpha y} \\ \sin [\lambda_2 \alpha y] \cdot e^{-\lambda_1 \alpha y} \end{bmatrix} =$$

$$= \alpha^g \begin{bmatrix} \lambda_1 & -\lambda_2 & 0 & 0 \\ \lambda_2 & \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 \\ 0 & 0 & \lambda_2 & -\lambda_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos [\lambda_2 \alpha (y-b)] \cdot e^{\lambda_1 \alpha (y-b)} \\ \sin [\lambda_2 \alpha (y-b)] \cdot e^{\lambda_1 \alpha (y-b)} \\ \cos [\lambda_2 \alpha y] \cdot e^{-\lambda_1 \alpha y} \\ \sin [\lambda_2 \alpha y] \cdot e^{-\lambda_1 \alpha y} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Eine analoge Ableitungsvorschrift läßt sich auch für die trigonometrischen Funktionen in x-Richtung aufstellen:

$$\frac{d^s}{dx^s} \begin{bmatrix} \sin \alpha x \\ \cos \alpha x \end{bmatrix} = \alpha^s \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sin \alpha x \\ \cos \alpha x \end{bmatrix} \quad (14)$$

Die erhaltenen Differentiationsmatrizen lassen sich, abgesehen von entsprechenden Konstanten, auch für die Integration einsetzen. Dabei auftretende negative Vorzeichen für g und s bewirken zusätzlich die Matrizeninversion.

4. Verknüpfung der Integrationskonstanten

Entsprechend der Ordnung des Differentialgleichungssystems (1) existieren acht frei wählbare Integrationskonstanten, auf welche die 16 Konstanten C_Φ und C_w zurückgeführt werden müssen. Dies geschieht durch die Verknüpfungsmatrizen $VC\Phi$ und VCW

$$C_\Phi = VC\Phi \cdot C \quad (15)$$

$$C_w = VCW \cdot C \quad (16)$$

Durch Einsetzen der Lösungsfunktionen (6) und (7) in eine beliebige der unter Berücksichtigung von (5) linear abhängigen Gleichungen (1) lassen sich die Verknüpfungsmatrizen bestimmen. Aus der unter Verwendung von (10) erhaltenen Beziehung heben sich die Vektoren EXP und C sowie der Faktor α heraus:

$$\left\{ \frac{1}{D_{22}} \cdot E - \frac{1}{D_{33}^*} \cdot MY^{T^2} + \frac{1}{D_{11}} \cdot MY^{T^4} \right\} \cdot VC\Phi$$

$$\left\{ \frac{D_{12}}{D_{22}} \cdot e_x \cdot E + (e_x + e_y) \cdot MY^{T^2} + \frac{D_{12}}{D_{11}} \cdot e_y \cdot MY^{T^4} \right\} VCW = 0 \quad (17)$$

Aus Gründen der numerischen Lösungsstabilität auch für die Sonderfälle der isotropen und schwach versteiften Elemente erweist sich die Ordnung der Wurzeln λ derart als günstig, daß für

$$f(\lambda) = |\bar{B}_{11}^* - 4B_{33}^* \lambda^2 + \bar{B}_{22}^* \lambda^4| \quad (18)$$

$$f(\lambda_1) = f(\lambda_3) \leq f(\lambda_2) = f(\lambda_4) \leq f(\lambda_5) = f(\lambda_7) \leq f(\lambda_6) = f(\lambda_8) \quad (19)$$

gilt. Dementsprechend wird mit

$$VCW = \begin{bmatrix} E & 0 \\ 0 & VCW_{22} \end{bmatrix}_{8 \times 8} \quad (20)$$

und

$$VC\Phi = \begin{bmatrix} VC\Phi_{11} & 0 \\ 0 & E \end{bmatrix}_{8 \times 8} \quad (21)$$

erreicht, daß bei der im Sonderfall auftretenden Entkopplung des Gleichungssystems (1) die ersten vier Lösungsfunktionen die Platten- und die restlichen vier die Scheibenwirkung des Elements beschreiben. In diesem Falle würden alle Elemente der mit (17) bestimmbaren Submatrizen vierter Ordnung VCW_{22} und $VC\Phi_{11}$ zu Null.

5. Ermittlung der Weg- und Schnittgrößen

Alle Schnittgrößen und Verformungen lassen sich aus den Lösungsfunktionen w und Φ unter Verwendung der differentiellen Abhängigkeiten ermitteln. Diese Beziehungen können in allgemeiner Form folgendermaßen zusammengefaßt werden:

$$r = H_1 \frac{\partial^{g_1+s_1} w}{\partial y^{g_1} \partial x^{s_1}} + H_2 \frac{\partial^{g_2+s_2} w}{\partial y^{g_2} \partial x^{s_2}} \quad (22)$$

$$+ H_3 \frac{\partial^{g_3+s_3} \Phi}{\partial y^{g_3} \partial x^{s_3}} + H_4 \frac{\partial^{g_4+s_4} \Phi}{\partial y^{g_4} \partial x^{s_4}}$$

Die Koeffizienten $H_1 \dots H_4$ sind von den Elementsteifigkeiten und, wie $g_1 \dots g_4$ und $s_1 \dots s_4$, von der darzustellenden Schnittgröße bzw. Verformung abhängig. Unter erneuter Verwendung der Ableitungsmatrizen sowie mit Hilfe von

$$\delta(g) = \begin{cases} 1 & \text{bei } g = 0 \\ 0 & \text{bei } g \neq 0, \end{cases} \quad (23)$$

der Partikulärlösung

$$C_o = \frac{q^*}{\alpha^4 \cdot (B_{11}^* \frac{D_{12}^2 \cdot e_x^2}{D_{22}})} \quad (24)$$

und des vorzeichensteuernden Faktors $a(s)$ können die Amplitudenwerte r durch Einsetzen der Lösungsfunktionen w und Φ in (22) allgemein formuliert werden

$$\hat{r} = \alpha^{g_1+s_1} \left\{ H_1 \cdot a_1 \cdot \delta(g_1) + H_2 \cdot a_2 \cdot \delta(g_2) + [H_3 \cdot a_3 \cdot \delta(g_3) + H_4 \cdot a_4 \cdot \delta(g_4)] \cdot D_{12} e_x \right\} C_o + C^T \left\{ VCW^T [H_1 \cdot a_1 \cdot MY^{g_1} + H_2 \cdot a_2 \cdot MY^{g_2}] + VC\Phi^T \cdot [H_3 \cdot a_3 \cdot MY^{g_3} + H_4 \cdot a_4 \cdot MY^{g_4}] \right\} EXP$$

$$= A_o + C^T \cdot VAC^T \cdot EXP \quad (25)$$

Da die Matrix VAC für jede Größe r unterschiedlich belegt wird, ist sie im Rahmen der allgemeinen Lösung dreidimensional. In Summenschreibweise unter Beibehaltung der Matrizenbezeichnungen für deren Elemente lautet die Gleichung (25) nunmehr

$$\hat{r}(j, y) = A_o(j) + \sum_{k=1}^8 \left\{ \sum_{m=1}^8 VAC(j, k, m) \cdot C(m) \right\} EXP(k, y) \quad (26)$$

j Index der Schnitt- bzw. Weggröße
 m Index der Integrationskonstante
 k Index der Exponentialfunktion

6. Bestimmung der Integrationskonstanten

Die acht Konstanten C sind aus den Randbedingungen für $y = 0$ und $y = b$ zu ermitteln. Dazu wird in (26) eine Summenvertauschung vorgenommen:

$$\hat{r}(j, y) = A_o(j) + \sum_{m=1}^8 \left\{ \sum_{k=1}^8 VAC(j, k, m) \cdot EXP(k, y) \right\} C(m) \quad (27)$$

In Abhängigkeit von den am jeweiligen Rand vorgeschriebenen statischen bzw. kinematischen Größen

werden für diese je zwei Platten- und zwei Scheibengrößen durch die entsprechenden Indizes j benannt. Derart kann für jedes Element ein lineares Gleichungssystem 8. Ordnung formuliert werden:

$$\sum_{m=1}^8 \left\{ \sum_{k=1}^8 \text{VAC}(j, k, m) \cdot \text{EXP}(k, 0) \right\} C(m) + A_o(j) - \hat{r}_R(j, 0) = 0$$

(4 Gleichungen für Elementrand $y=0$)

$$\sum_{m=1}^8 \left\{ \sum_{k=1}^8 \text{VAC}(j, k, m) \cdot \text{EXP}(k, b) \right\} C(m) + A_o(j) - \hat{r}_R(j, b) = 0$$

(4 Gleichungen für Elementrand $y=b$)

Hierbei bezeichnet \hat{r}_R den Amplitudenrandwert der jeweils vorgeschriebenen Größe.

Nach Lösung des Gleichungssystems (28), welches im Sonderfall eines mittig oder nicht versteiften Elementes in zwei separate Gleichungssysteme 4. Ordnung zerfällt, lassen sich alle Schnitt- und Weggrößen mittels (26) bzw. (27) sowohl an den Elementrändern, als auch im Elementinneren bestimmen. Bei diesem Vorgehen wird auf geschlossene Lösungen des Gleichungssystems verzichtet, da angesichts der Vielzahl möglicher Randbedingungen sowie Kombinationen der Wurzeln aus (5) ein nicht mehr vertretbarer Aufwand betrieben werden müßte. Der vorgeschlagene Algorithmus gestattet bei der Lösung des Zusammenhangproblems mehrerer Elemente die Vor- und Lastzahlbestimmung sowohl nach dem Kraft- als auch nach dem Weggrößenverfahren.

7. Anwendungen

Die dargelegte Elementformulierung ist wesentlicher Bestandteil des Programmsystems FATIMA (FALTwerke mit prIsMATischer Struktur), das von den Autoren konzipiert, programmiert, getestet und für verschiedene Aufgabenstellungen (vgl. [4], [9]) erfolgreich angewandt wurde. Die Berücksichtigung der konstruktiven Orthotropie von Tragwerkselementen trägt speziell den Gegebenheiten im modernen Stahlbau (z. B. bei Brücken) Rechnung, ist jedoch auch bei dünnwandigen Massivkonstruktionen von Bedeutung (u. a. hinsichtlich des Einflusses der schlaffen Bewehrung im Stahlbeton).

Zur Einordnung der Elementlösung sei hier der Vergleich mit einer allseitig gelenkig gelagerten, quadratischen, ausmittig versteiften Platte unter gleichmäßiger Flächenlast [8] angeführt. Henning vergleicht die Lösung des Differentialgleichungssystems (1) unter Zuhilfenahme doppelter Fourier-Reihen mit einer Finite-Elemente-Lösung.

Diesen Ergebnissen werden die mit dem Programm FATIMA ermittelten Lösungen gegenübergestellt (Tabelle 1). Weitere Tests wurden besonders unter dem Blickwinkel der numerischen Stabilität der Lösung durchgeführt [4].

8. Zusammenfassung

Für ein ausmittig versteiftes ebenes rechteckiges Faltwerkselement wird die Lösung der simultanen partiellen Differentialgleichungen mit Hilfe einer einfachen Fourier-Reihenentwicklung vorgestellt. Neben der Behandlung entsprechender Platten- und Scheibenprobleme kann darauf aufbauend die Ermittlung des Spannungs-Verformungs-Zustandes dünnwandiger prismatischer Faltwerke mit Hilfe einer kontinuierlichen Modellierung erfolgen.

LITERATUR

- [1] Rüdiger, D.: Die strenge Theorie anisotroper prismatischer Faltwerke. Ingenieur-Archiv, 23. Band (1955) H. 2, S. 133 – 150.
- [2] Cusens, A. R.; Pama, R. P.: Distribution of Concentrated Loads on Orthotropic Bridge Decks. The Structural Engineer, Vol. 47 (1969), No. 9, pp 377 – 385.
- [3] Müller, H.; Möller, B.: Faltwerk-Statik mittels hybrider finiter Elemente. Tagung Festkörpermechanik: Festigkeitsprobleme und Materialverhalten, Band A, Beitrag XVI, VEB Fachbuchverlag 1982.
- [4] Reichelt, A.; Lindorf, C.: Statische Analyse des Tragverhaltens dünnwandiger, konstruktiv orthotroper prismatischer Faltwerke des Brückenbaus. Dissertation A, Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden 1982.
- [5] Pflüger, A.: Die orthotrope Platte mit Hohlsteifen, Österreichisches Ingenieur-Archiv, 9 (1955), H. 2/3, S. 199 – 207.
- [6] Trenks, K.: Beitrag zur Berechnung orthogonal anisotroper Rechteckplatten. Der Bauingenieur 29 (1954), S. 373 – 377.
- [7] Gienke, E.: Die Grundgleichungen für die orthotrope Platte mit exzentrischen Steifen. Der Stahlbau 24 (1955), H. 6, S. 128 – 129.
- [8] Henning, G.: Zur genauen Berechnung konstruktiv orthotroper Platten. Der Stahlbau 41 (1972), H. 3, S. 78 – 86.
- [9] Reichelt, A.; Lindorf, C.; Böhme, F.: Rechnerische und modellstatische Untersuchungen dreizelliger Einfeldkastenträger als steifknotiges Faltwerk. Die Straße 22 (1982), H. 9, S. 309 – 314.

Anschriften der Verfasser: Dr.-Ing. Carsten Lindorf
Deutsche Post, Rundfunk- und Fernstechnisches
8054 Dresden Dostojewskistraße 7
Dr.-Ing. Andreas Reichelt
VE Autobahnkombinat, Betrieb Brückenbau
8072 Dresden Zwickauer Straße 27

Tabelle 1: Vergleich der Rechenergebnisse eines Testbeispiels mit Werten von Henning [8]

	$w \cdot \frac{E \cdot b_x}{q_0 \cdot L^4}$				$\sigma_{\text{Steife}} \cdot \frac{b_x^2}{q_0 \cdot L^2}$			$\sigma_{\text{Tafel}} \cdot \frac{b_x^2}{q_0 \cdot L^2}$		
	finite Teilung	finit	doppelte Fourierreihe	FATIMA	finit	doppelte Fourierreihe	FATIMA	finit	doppelte Fourierreihe	FATIMA
Scheibe	2 x 2	11,33	11,42	11,41	47,30	41,06	41,00	7,88	7,72	7,71
und	4 x 4	11,39			42,05			8,45		
Platte	6 x 6	11,40			41,62			7,86		
gekoppelt	8 x 8	11,41			41,37			7,80		