

CA-Systeme in der Tragwerksplanung

Prof. Dr.-Ing. H. Werkle, Fachhochschule Konstanz

1 Einführung

Einer meiner Hochschullehrer pflegte uns jungen Bauingenieurstudenten zu sagen: *Das Wort „Ingenieur“ kommt nicht von „Integral“ sondern von „ingenium“ (lat.: Scharfsinn, sinnreiche Erfindung).* Er wollte uns damit deutlich machen, daß die Essenz des Bauingenieurwesens nicht im „Rechnen“ sondern in der kreativen Konstruktion und Planung sowie deren Umsetzung auf der Baustelle besteht. Ein anderes geflügeltes Wort, das jeder Bauingenieur kennt, weist in eine ähnliche Richtung: *„Die Zeichnung ist die Sprache des Ingenieurs“.* Ist das aber wirklich so? Und welchen Stellenwert hat dann die Mathematik im Bauingenieurwesen? In welchem Spannungsfeld stehen Mathematik und Ingenieurwissenschaften?

Während die Baumeister früherer Zeiten auf Mathematik und Mechanik weitgehend verzichten konnten, geht heute jedem größeren Bauprojekt eine umfassende Planung voraus. Unverzichtbar und von den Normen gefordert sind hierbei umfangreiche statische Berechnungen, bei denen auch numerische Verfahren wie die Finite-Element-Methode zum Einsatz kommen. Auch die Mathematik ist daher eine „Sprache des Ingenieurs“ und gerade darin unterscheidet sich der Ingenieur vom Baumeister früherer Zeiten. Dennoch gibt es einen wesentlichen Unterschied zum Mathematiker. Während sich der Mathematiker mit den Grundlagen seiner Disziplin befasst, interessiert sich der Ingenieur in aller Regel für deren Anwendung. Will man den Vergleich mit der natürlichen Sprache fortführen, so könnte man sagen: Der Mathematiker entspricht dem Sprachwissenschaftler während der Ingenieur die Rolle eines Schriftstellers innehat. Der mögliche Erkenntnisgewinn bei der Anwendung mathematischer Verfahren, auch mit Computer-Algebra-Systemen, liegt also nicht im mathematischen sondern im ingenieurwissenschaftlichen Bereich.

Die Anforderungen des Konstruktiven Ingenieurs an die Mathematik unterscheiden sich, je nach Anwendungsgebiet, in ihren Inhalten und ihrem Umfang erheblich. Allgemein lassen sich drei Gebiete identifizieren:

- Forschung und Entwicklung
- Lehre
- Tragwerksplanung in der Praxis

Für alle drei Gebiete werden im folgenden die Einsatzmöglichkeiten von Computer-Algebra-Systemen untersucht und anhand von Beispielen aus der eigenen Praxis erläutert. Für die Beispiele kommt Mathcad [1] in den beiden neueren Versionen Mathcad 8 und Mathcad 2000 zum Einsatz.

2 CA-Systeme bei F&E-Projekten

Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit mathematischem Hintergrund stellen zweifellos die höchsten Anforderungen an die Kenntnisse und Leistungsfähigkeit von mathematischen Verfahren und CA-Systemen. Große Bereiche der anwendungsbezogenen Algebra und Analysis wie das Arbeiten mit analytischen Gleichungen, die Lösung anspruchsvoller Differentialgleichungen, das Rechnen mit Matrizen und Tensoren aber auch Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung sind gefragt. Von CA-Systemen werden insbesondere häufig auch symbolische Lösungen benötigt. Aufgrund der hohen Anforderungen kommen hier die in mathematischer Hinsicht besonders leistungsfähigen Systeme wie z.B. die „Klassiker“ MAPLE und MATHEMATICA, in Betracht. Je nach Projektanforderungen werden natürlich auch andere Systeme für symbolische und numerische Berechnungen im F&E-Bereich angewandt.

Beispiel: Herleitung eines speziellen Finiten Elements zur Kopplung von Deckenplatten mit Einzelstützen

Bei der Finite-Element-Berechnung von Flachdecken stellt sich das Problem, den Übergang von der als Stab betrachteten Stütze zum Finite-Element-Netz der Deckenplatte abzubilden. Die in der Praxis derzeit verwendeten Modelle eines Punktlagers oder einer elastischen Bettung der Platte im Stützenkopfbereich führen zu Inkonsistenzen im Tragwerksmodell und Schwierigkeiten bei der Interpretation der Berechnungsergebnisse [2]. An der Fachhochschule Konstanz wurde ein neues Tragwerksmodell entwickelt, das den Übergang zwischen Stütze und Platte mechanisch korrekt wiedergibt und die genannten Inkonsistenzen nicht aufweist [3, 4]. Das Element wird als Koppelfederelement bezeichnet, da es die Federn zur Abbildung einer elastischen Lagerung gegenseitig miteinander koppelt (Bild 1).

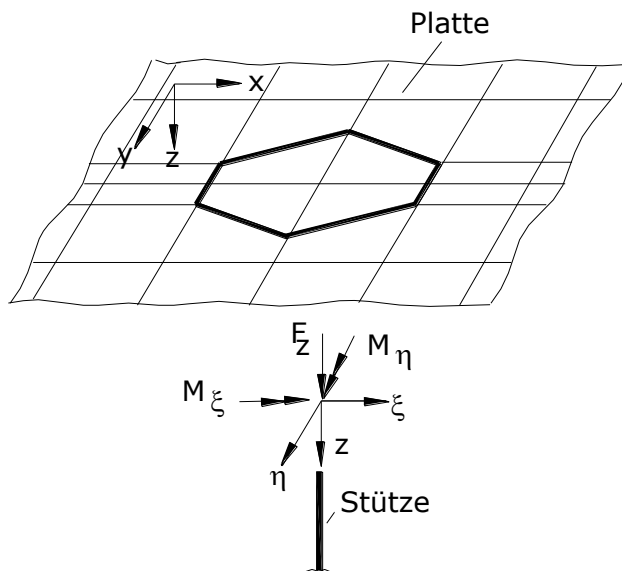


Bild 1: Finite-Element-Modell der Stütze einer Flachdecke

Bei der Herleitung dieses Modells ist das folgende bestimmte Integral zu lösen:

$$\underline{A}^{(el)} = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \underline{N} \cdot \underline{N}^T \cdot \text{Det}(\underline{J}) \, dr \, ds \quad (1)$$

$$\text{mit } \underline{N}(r,s) = \frac{1}{4} \cdot \begin{bmatrix} (1+r) \cdot (1+s) \\ (1-r) \cdot (1+s) \\ (1-r) \cdot (1-s) \\ (1+r) \cdot (1-s) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\text{und } \underline{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial r} \\ \frac{\partial x}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial s} \end{bmatrix}, \quad x(r,s) = \underline{N}(r,s)^T \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}, \quad y(r,s) = \underline{N}(r,s)^T \cdot \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Dasselbe Integral tritt auch bei der Berechnung der Massenmatrix isoparametrischer Scheibenelemente auf. In Finite-Element-Programmen wird es dann allerdings numerisch mit Hilfe der Gaußschen Integration berechnet. Diese wird auch in der Finite-Element-Literatur auch stets angegeben. Für das Koppelfederelement wurde hingegen eine analytische Lösung vorgezogen, da sie einfacher als die numerische Lösung ist und ihre Genauigkeit nicht von der Integrationsordnung abhängt. Die Durchführung der analytischen Integration für die insgesamt zehn Matrizenelemente (die übrigen ergeben sich aus der Symmetrie der Matrix $\underline{A}^{(el)}$) ist allerdings sehr aufwendig. Sie wurde daher mit dem CA-System Mathcad auf vergleichsweise einfache Weise ermittelt.

Matrix A des Koppelfederelements

Formfunktionen:
$$\underline{N}(r,s) := \frac{1}{4} \cdot \begin{bmatrix} (1+r) \cdot (1+s) \\ (1-r) \cdot (1+s) \\ (1-r) \cdot (1-s) \\ (1+r) \cdot (1-s) \end{bmatrix}$$

Jakobi-Determinante:

$$J(r,s, x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4) := \frac{1}{4} \cdot \begin{bmatrix} (1+s) \cdot x_1 - (1+s) \cdot x_2 - (1-s) \cdot x_3 + (1-s) \cdot x_4 & (1+s) \cdot y_1 - (1+s) \cdot y_2 - (1-s) \cdot y_3 + (1-s) \cdot y_4 \\ (1+r) \cdot x_1 + (1-r) \cdot x_2 - (1-r) \cdot x_3 - (1+r) \cdot x_4 & (1+r) \cdot y_1 + (1-r) \cdot y_2 - (1-r) \cdot y_3 - (1+r) \cdot y_4 \end{bmatrix}$$

$$\text{Det}(r,s, x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4) := |J(r,s, x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4)|$$

Matrizenelemente:

$$A(i,j, x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4) := \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 N(ir, ss)_i \cdot N(ir, ss)_j \cdot \text{Det}(ir, ss, x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4) \, dr \, ds$$

Element (1,1) der Matrix A:

$$A(1,1, x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4) \rightarrow \frac{-1}{18} \cdot x_4 \cdot y_2 - \frac{1}{36} \cdot x_4 \cdot y_3 + \frac{1}{12} \cdot x_4 \cdot y_1 - \frac{1}{36} \cdot x_3 \cdot y_2 + \frac{1}{36} \cdot x_3 \cdot y_4 + \frac{1}{36} \cdot x_2 \cdot y_3 + \frac{1}{18} \cdot x_2 \cdot y_4 - \frac{1}{12} \cdot x_2 \cdot y_1 + \frac{1}{12} \cdot x_1 \cdot y_2 - \frac{1}{12} \cdot x_1 \cdot y_4$$

Bild 2: Ausschnitt aus dem Mathcad-Arbeitsblatt zur Ermittlung von $\underline{A}^{(el)}$

In Bild 2 ist als Beispiel die Berechnung des Termes a_{11} der Matrix $\underline{A}^{(el)}$ mit dem symbolischen Teil von Mathcad 2000 angegeben. Auch die weiteren Herleitungen und die nachfolgenden Testrechnungen des Koppelfederelements wurden durch Mathcad erheblich vereinfacht.

Das Beispiel zeigt, daß analytische Lösungen, deren Herleitung bisher zu aufwendig erschienen, mit CA-Systemen oftmals leicht ermittelt werden können. Unter Umständen können auch Lösungen gefunden werden, die bisher einer Herleitung „von Hand“ kaum zugänglich waren.

3 CA-Systeme in der Lehre

CA-Systeme sind bestens für Lehrgebiete geeignet, die mathematische Verfahren verwenden. Es sind folgende Anwendungen möglich:

- Nutzung von CA-Systemen zur Erstellung von Lehrmaterialien
- Lehrveranstaltungen mit CA-Systemen als Werkzeug
- Interaktive Selbstlernsoftware mit CA-Systemen

Zur Erstellung von Lehrmaterialien wie Umdrucken oder zur Ausarbeitung von Berechnungsbeispielen und Prüfungsaufgaben stellen CA-Systeme eine wesentliche Unterstützung für den Dozenten dar. Es können aber auch Aufgabensammlungen zu bestimmten Themengebieten als Arbeitsblätter ausgearbeitet und Studierenden zur Verfügung gestellt werden. Als Beispiel können die Arbeitsblätter zur Baustatik III auf der Basis von Mathcad [5] genannt werden. Sie ermöglichen es den Studierenden nicht nur Studien zum Einfluß von Parameteränderungen durchzuführen, sondern auch Teile davon für eigene Arbeitsblätter zu verwenden.

In Lehrveranstaltungen wie Computer-Labors können Studierende Aufgaben mit CA-Systeme eigenständig bearbeiten. Damit steht jedem Studierenden ein umfangreiches mathematisches Werkzeug zur Verfügung. Beispielsweise können Aufgaben zur Matrizenrechnung, deren Bearbeitung von Hand mit einem unverhältnismäßig großem Aufwand verbunden ist, auf einfache Weise gelöst werden. Ein Beispiel sind die vom Autor durchgeführten Computerlabors im Fach Bauinformatik II. Ein Inhalt dieser Lehrveranstaltung ist das Übertragungsmatrizenverfahren als computerorientiertes Verfahren der Baustatik [6]. Die praktische Anwendung erfordert die Programmierung des Verfahrens. Da die hierfür erforderliche Zeit in der Lehrveranstaltung nicht zur Verfügung steht und die Programmierung zum Verständnis des Verfahrens auch nicht beiträgt, führen die Studierenden die notwendigen Berechnungen im Computerlabor mit Hilfe von Mathcad durch. Einige Funktionen wie das Aufstellen der Übertragungsmatrix des geraden Stababschnitts und die Lösung des Gleichungssystems werden den Studierenden vorab zur Verfügung gestellt (Bild 3).

Bauinformatik II: Übertragungsmatrizenverfahren

Abschnittsmatrix und Lastvektor

ORIGIN:= 1

$$A(1, EI) := \begin{bmatrix} 1 & 1 & -\frac{l^2}{2 \cdot EI} & -\frac{l^3}{6 \cdot EI} \\ 0 & 1 & -\frac{l}{EI} & -\frac{l^2}{2 \cdot EI} \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad L_q(q_l, q_r, l, EI) := \begin{bmatrix} \frac{(4 \cdot q_l + q_r) \cdot l^4}{120 \cdot EI} \\ \frac{(3 \cdot q_l + q_r) \cdot l^3}{24 \cdot EI} \\ -\frac{(2 \cdot q_l + q_r) \cdot l^2}{6} \\ -\frac{(q_l + q_r) \cdot l}{2} \end{bmatrix}$$

Punktmatrix und Lastvektor

$$P(k_w, k_\phi) := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -k_\phi & 1 & 0 \\ k_w & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad P_F(F, M) := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -M \\ -F \end{bmatrix}$$

Übertragung

Zustandsvektor

$$Z_r(M, Z_1) := M \cdot Z_1$$

Lastvektor

$$L_r(M, L, L_1) := M \cdot L_1 + L$$

Anfangsvektoren

$$Z_{\text{frei}} := \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Z_{\text{gelenk}} := \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_{\text{einspann}} := \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Lösung des Gleichungssystems

$$\text{UNBEK_L}(Z_{\text{ende}}, Z, L) := \text{submatrix}\left[\text{erweitern}\left(Z, -Z_{\text{ende}}\right)^{-1} \cdot (-L), 1, 2, 1, 1\right]$$

$$\text{UNBEK_RE}(Z_{\text{ende}}, Z, L) := \text{submatrix}\left[\text{erweitern}\left(Z, -Z_{\text{ende}}\right)^{-1} \cdot (-L), 3, 4, 1, 1\right]$$

Bild 3: Funktionen zum Übertragungsmatrizenverfahren in Mathcad 6

Auch für Selbstlernsysteme lassen sich CA-Systeme gut einsetzen. Ein Beispiel stellt die bereits genannte Aufgabensammlung zur Baustatik III [5] dar. In [7] wird erläutert, wie Aufgaben der Ingenieurmathematik mit verschiedenen CA-Systemen gelöst werden können. CA-Systeme können aber auch als OLE-Server für ein Lehrprogramm, etwa zur Visualisierung mathematischer Sachverhalte, herangezogen werden. Allerdings ist dies, wie in [8] untersucht wird, derzeit nur mit bestimmten Softwareprodukten wie Mathcad möglich.

4 CA-Systeme in der Tragwerksplanung

Baustatische Berechnungen werden heute mit spezieller Software durchgeführt. Für komplexe Tragwerke stehen leistungsfähige Finite-Element-Programme für Stab- und Flächentragwerke zur Verfügung. Kleinere Standardnachweise von Konstruktionen werden hingegen meistens mit hierfür entwickelten Statikprogrammen geführt. Daneben gibt es aber auch eine Reihe von Nachweisen und Kontrollrechnungen, die nicht standardisiert sind. Hierzu zählen beispielsweise Anschlussnachweise im Stahl- und Holzbau, nicht genormte oder neue Berechnungsverfahren oder die für jede komplexe Finite-Element-Berechnung erforderlichen Kontrollrechnungen. Meistens behilft sich der Tragwerksplaner hierbei mit einer Rechnung "von Hand" unter Verwendung eines Taschenrechners.

Die Berechnungen für die genannten Aufgaben sind vergleichsweise einfach. Somit werden an die mathematische Leistungsfähigkeit des CA-Systems keine hohen Anforderungen gestellt. Die Möglichkeiten im Bereich des symbolischen Rechnens sind kaum von Interesse. Vielmehr stehen die einfache Handhabung und die übersichtliche Darstellung der Ergebnisse im Vordergrund. Weiterhin ist es wichtig, dass das CA-System das Rechnen mit dimensionsbehafteten Größen unterstützt. Kommandozeilenorientierte Systeme wie die klassischen CA-Systeme scheiden daher in der Praxis für die Tragwerksplanung aus. Gut geeignet sind Systeme mit einer einfachen Benutzeroberfläche und einer den Textverarbeitungssystemen entsprechenden Darstellung wie z.B. Mathcad [9]. Die Anforderungen an CA-Systeme in der Praxis der Tragwerksplanung, in der Lehre und in Forschung und Entwicklung sind also durchaus unterschiedlich (Bild 4).

Beim Arbeiten mit CA-Systemen sind in der Praxis vorbereitete Arbeitsblätter hilfreich, die Formeln und Berechnungsverfahren enthalten. Ein Schritt in diese Richtung ist die Umsetzung von Standardwerken der Tragwerksplanung in CA-

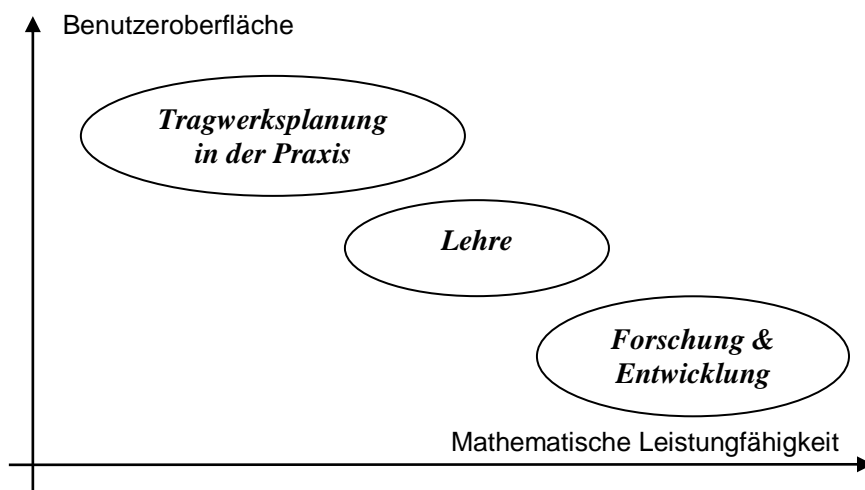


Bild 4: Anforderungen an CA-Systeme in der Tragwerksplanung

Systeme. So stehen beispielsweise seit kurzem die wichtigsten Abschnitte der "Schneider, Bautabellen für Ingenieure" [10] als Mathcad-Arbeitsblätter in einem Elektronischen Buch auf der Grundlage von Mathcad 8 zur Verfügung [11, 12]. Bild 5 zeigt als Beispiel die Biegebemessung eines Stahlbetonquerschnitts nach Eurocode 2 mit dem k_d -Verfahren. Eingabewerte und Ergebnisse sind im Arbeitsblatt farbig hinterlegt. Alle erforderlichen Werte werden mit Dimensionen angegeben. Die Ermittlung des Beiwerts k_d erfolgt im gedruckten Werk mittels einer Tabelle und im Mathcad-Arbeitsblatt mit einer hierfür geschriebenen Funktion. Bedeutend ist, daß die einzelnen Rechenschritte wie bei der Handrechnung leicht nachvollziehbar sind. Dies ist bei den Standardprogrammen der Baustatik nicht der Fall.

Dimensionsgebundene Bemessung (k_d Verfahren) nach EC 2			
für den Rechteckquerschnitt ohne Druckbewehrung			
für Biegung mit Längskraft - Betonstahl S 500			
			$\gamma_s := 1.15$
Querschnitt	Querschnittshöhe:	$h := 40 \text{ cm}$	
	Statische Höhe:	$d := 37 \text{ cm}$	
	Querschnittsbreite:	$b := 30 \text{ cm}$	
Baustoffe	Betonfestigkeitsklasse	beton := "25/30"	
Schnittgrößen	Normalkraft:	$N_{Sd} := 50 \text{ kN}$	(Zug positiv)
	Biegemoment:	$M_{Sd} := 200 \text{ kN}\cdot\text{m}$	
Bemessung	Abstand Bewehrung-Stabachse	$z_{s1} := \frac{h}{2} - (h - d)$	$z_{s1} = 17 \text{ cm}$
	Bezogenes Moment	$M_{Sds} := M_{Sd} - N_{Sd} \cdot z_{s1}$	$M_{Sds} = 191.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$
	$k_d := \frac{d \cdot \frac{1}{\text{cm}}}{\sqrt{\frac{M_{Sds} \cdot \frac{1}{\text{kN}}}{b}}}$	$k_d = 1.464$	
aus Tafel:	$k_s := C_{k_s}(k_d, \text{beton})$	$k_s = 2.931$	
	$A_s := \left(k_s \cdot \frac{M_{Sds} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{kN}\cdot\text{m}} + \frac{N_{Sd} \cdot \frac{1}{\text{kN}}}{43.5}}{d} \right) \cdot \text{cm}^2$		$A_s = 16.3 \text{ cm}^2$
Lage der Nulllinie	$\xi := C_{\xi}(k_d, \text{beton})$	$\xi = 0.517$	$x := \xi \cdot d$ $x = 19.1 \text{ cm}$
Innerer Hebelarm	$\zeta := C_{\zeta}(k_d, \text{beton})$	$\zeta = 0.785$	$z := \zeta \cdot d$ $z = 29 \text{ cm}$
Dehnungen inf/oo	$\varepsilon_{c2} := C_{\varepsilon_{c2}}(k_d, \text{beton})$		$\varepsilon_{c2} = -3.5$
	$\varepsilon_{s1} := C_{\varepsilon_{s1}}(k_d, \text{beton})$		$\varepsilon_{s1} = 3.3$

Bild 5: Biegebemessung eines Stahlbetonquerschnitts

$\gamma := 6.03$	
$\beta_u(c_u, c_o) :=$	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p style="margin: 0;">"nicht definiert" if $(c_u > 1) + (c_o > 1) + (c_u \leq 0.05) + (c_o \leq 0.05)$</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <p style="margin: 0;">otherwise</p> </div> </div>
wurzel	$\left[\left[\frac{\gamma^2 \cdot c_o}{3} - \frac{(1 - c_o) \cdot \gamma}{\tan(\gamma)} + (1 - c_o) \right] \cdot \left[\frac{\gamma^2 \cdot c_u}{3} - \frac{(1 - c_u) \cdot \gamma}{\tan(\gamma)} + (1 - c_u) \right] \dots, \gamma \right]^{-1} \cdot \pi$
+ -	$\left[(1 - c_o) \cdot (1 - c_u) \cdot \left(\frac{\gamma}{\sin(\gamma)} - 1 \right)^2 \right]$

Bild 6: Bestimmung des Knicklängenbeiwerts eines unverschieblichen Rahmens

Manche Arbeitsblätter nutzen die umfangreiche numerische Funktionalität des CA-Systems. Ein Beispiel ist in Bild 6 angegeben. Es handelt sich um die Ermittlung des Knicklängenbeiwerts β unverschieblicher Rahmen. Er ergibt sich durch Bestimmung einer Nullstelle $\gamma = \pi / \beta$ folgender Funktion:

$$f(\gamma) = \left[\frac{\gamma^2}{3 \cdot (1/c_o - 1)} + 1 - \frac{\gamma}{\tan \gamma} \right] \cdot \left[\frac{\gamma^2}{3 \cdot (1/c_u - 1)} + 1 - \frac{\gamma}{\tan \gamma} \right] - \left[\frac{\gamma}{\sin \gamma} - 1 \right]^2 = 0 \quad (4)$$

Während die Lösungen im gedruckten Werk als Diagramm aufgetragen sind, werden sie im Elektronischen Buch für den jeweiligen Fall mit einem nicht-linearen Gleichungslöser bestimmt. Hierdurch werden Interpolationsfehler vermieden. Die Lösung mit Mathcad 8 ist in Bild 6 angegeben. Arbeitsblätter des Elektronischen Buchs können leicht mit Windows-Techniken in andere Arbeitsblätter kopiert und für eigene Berechnungen genutzt werden.

Selbstverständlich lassen sich auch die mathematisch anspruchsvolleren Funktionen eines CA-Systems in der Tragwerksplanung anwenden. In [13] sind die numerischen Lösungen für die Differentialgleichungen des elastisch gebetteten Balkens und der Rechteckplatte unter beliebiger Belastung angegeben. Allerdings sind für diese Probleme spezielle baustatische Programme auf der Grundlage der Finite-Element-Methode besser geeignet. Lösungen von Differentialgleichungen mit CA-Systemen sind daher eher für Vergleichsrechnungen oder für die Lehre als für die praktische Tragwerksplanung von Interesse.

Neben der Form des Elektronischen Buchs ist auch die Entwicklung von baustatik-spezifischer Funktionen für die Tragwerksplanung mit CA-Systemen von Interesse. Die Möglichkeiten in diesem Bereich werden derzeit im F&E-Projekt EDATRA an der Fachhochschule Konstanz untersucht.

5 Ausblick

Unsere Softwaresysteme werden zunehmend komplexer und ihre Entwicklung wird aufwendiger. Um so wichtiger sind daher Standardsoftwarepakete. Auch im Ingenieurwesen wird sich eine Arbeitsumgebung auf dem Computer, die als "Engineering Desktop Systeme" bezeichnet werden kann, herausbilden. Hierbei

handelt es sich um eine aus verschiedenen Softwareprodukten zusammengesetzte heterogene Arbeitsumgebung, möglicherweise unter Einbeziehung des Internets [14]. Sie wird es dem Tragwerksplaner erlauben, ingenieurmäßige Berechnungen auf dem Computer ähnlich einfach durchzuführen, wie dies heute für Schreib- und Zeichenarbeiten mit Textverarbeitungs- und CAD-Systemen der Fall ist. CA-Systeme bilden einen wichtigen Bestandteil dieser Arbeitsumgebung.

Literatur

- [1] Hörhager Markus, Partoll Heinz, Mathcad 6.0 / Plus6.0, Addison-Wesley Publishing Compagny, Bonn, 1996
- [2] Werkle H., Finite Elemente in der Baustatik, Vieweg, Wiesbaden, 1995
- [3] Werkle H., T. Friedrich, J. Sutter, Modellierung von Stützen mit Pilzkopfverstärkung bei Flachdecken, FEM/CAD 5, TU Darmstadt, 2000
- [4] Werkle, H., Konsistente Modellierung von Stützen bei Flachdecken, Aufsatz, in Vorbereitung
- [5] Werkle, H., Aufgaben zu Baustatik III, Arbeitsblätter in Mathcad, Fachhochschule Konstanz, 2000 (in Vorbereitung)
- [6] Werkle, H., Das Übertragungsmatrizenverfahren der Baustatik, Vorlesungsdruck zu Bauinformatik II, Fachhochschule Konstanz, 1992
- [7] Benker, H., Ingenieurmathematik mit Computeralgebrasystemen, Vieweg, Wiesbaden, 1998
- [8] Pleßke, H., Die Visualisierung mathematischer Gegenstände mittels Computeranimation; LARS-Workshop: Innovative Lehr- und Lernmittel, FH Konstanz 1998
- [9] Werkle H., Statische Berechnungen mit Mathcad, Bauinformatik Journal, 3/99, Werner Verlag, Düsseldorf, 1999
- [10] Schneider K.-J., Bautabellen für Ingenieure, 13. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf, 1998
- [11] Werkle H., Schneider K.-J., Bautabellen digital, Werner Verlag, Düsseldorf, 2000
- [12] Werkle H., Bautabellen digital – die Mathcad-Arbeitsblätter zum Standardwerk „Schneider/Bautabellen“, Bauinformatik Journal, 2/99, Werner Verlag, Düsseldorf, 1999
- [13] Werkle H., Differentialgleichungen mit Mathcad lösen, Bauinformatik Journal, 2/99, Werner Verlag, Düsseldorf, 1999
- [14] Werkle H., Das Internet im Konstruktiven Ingenieurbau, Bautechnik 10/99, Ernst und Sohn, Berlin, 1999