

Hartl, H. "*Drei dimensionale kontinuumsmechanische FE-Modellierung von Stahlbeton-konstruktionen*", (in German), Beton und Stahlbetonbau, Ernst&Sohn, 96.Jg., Heft 4, 2001, p 276

# Dreidimensionale kontinuumsmechanische FE-Modellierung von Stahlbetonkonstruktionen

Helmut Hartl, Graz / San Diego

Prof. Lutz Sparowitz

Prof. Ahmed Elgamal

Technische Universität Graz University of California in San Diego

Institut für Betonbau

Department for Structural Engineering

Lessingstrasse 25/I

9500 Gilman Drive

A-8010 Graz

San Diego, CA-92093

hartl@ibb.tu-graz.ac.at



## 1 Bedeutung der FEM im Stahlbetonbau

Bei der Entwicklung neuer Bauweisen ist es oft wichtig, das Tragverhalten der Konstruktion wirklichkeitsnah erfassen zu können. Wenn bereits bestehende Konstruktionen in statischer Hinsicht beurteilt werden sollen, ist es in vielen Fällen ebenso bedeutsam, daß jeder einzelne Bewehrungsstab für die Tragwirkung berücksichtigt werden kann. Ziel ist, ein Werkzeug zu schaffen, mit dem der Ingenieur effizient nicht-lineare Berechnungen durchführen kann. Die benötigten Materialparameter können den gängigen Regelwerken wie Normen oder dem Model Code entnommen werden. Laborversuche

**Die Materialparameter werden gängigen Regelwerken entnommen, die Bewehrung wird aus einer CAD-Datei übernommen.**

zur Bestimmung der Parameter sind meist nicht erforderlich. Es wird ein weiteres Zusatzmodul entwickelt, daß die von einem CAD-System erstellte Bewehrung für die FE-Rechnung aufbereitet. Diese Bewehrung wird dann automatisch auf das Elementnetz diskretisiert. Somit kann für eine Konstruktion samt gewählter bzw. vorhandener Bewehrung das Tragverhalten unter Berücksichtigung aller Materialnicht-linearitäten beschrieben werden. Es wird sowohl die Gebrauchstauglichkeit als auch die Traglast wirklichkeitsnah simuliert.

## 2 Aufbau der Arbeit

Die im folgenden beschriebenen Entwicklungen wurden in das bestehende FE-Programm BEFE [1] implementiert. Ein benutzerfreundlicher Preprocessor ermöglicht eine einfache und rasche Eingabemöglichkeit des FE-Netzes für den Beton und der statischen Randbedingungen. Der Postprocessor erlaubt eine aussagekräftige Beurteilung der Rechenergebnisse.

### 2.1 Modellierung des Betons

Der Beton kann entweder mit Kontinuums-elementen oder mit Scheibenelementen

modelliert werden. Das Ausfallen der Zugtragfähigkeit kann durch verschiedene Rißmodelle erfaßt werden. Das Erreichen der Tragfähigkeit im Druckbereich wird durch das Bruchkriterium von Ottosen beschrieben. Dies ist ein eigens für Beton entwickeltes Bruchgesetz mit vier Parametern. Liegen keine entsprechenden Versuche vor, so können die Parameter gemäß Model Code 90 aus der Zug- und Druckfestigkeit errechnet werden. Kriechen und Schwinden wird entsprechend fib Bulletin [2] modelliert. Die Kriechverformung wird durch Integration der gesamten Umwelt- und Spannungsgeschichte über die Zeit ermittelt.

### 2.2 Modellierung der Bewehrung

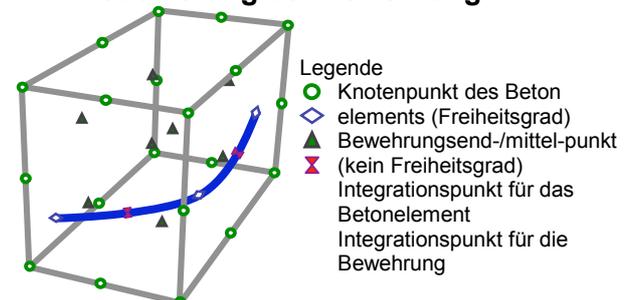


Bild 1 Eingebettete Modellierung der Bewehrung

Die Bewehrung wird eingebettet modelliert [3, 4] (Bild 1) und ist dadurch nicht an die Knoten der Betonelemente gekoppelt. Die Bewehrungsstäbe können an jedem beliebigen Punkt im Element beginnen und können die Betonelemente in beliebiger Richtung durchlaufen. Deshalb kann der geometrische Verlauf der Bewehrung direkt aus einer CAD-Datei übernommen werden, eine zusätzliche Idealisierung, die eine eigens durchgeführte Eingabe erfordern würde, ist nicht notwendig. Die Bewehrung kann auch vorgespannt werden, Vorspannverluste können automatisch berechnet werden.

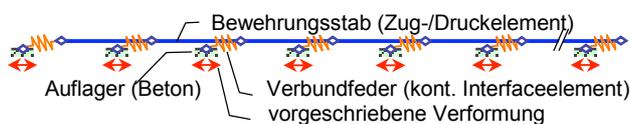
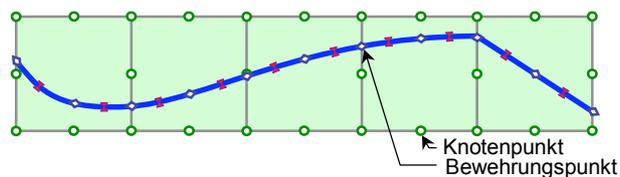
### 2.3 Modellierung des Verbunds

Bei der eingebetteten Modellierung der Bewehrung ist das Verzerrungsfeld vom Beton und von der Bewehrung gekoppelt, starrer Verbund ist die Folge. Die Bewehrung wird selbst an den Enden voll tragfähig in Rechnung gestellt, ein Kräfteleitungs-bereich kann auf globalem Niveau nicht berücksichtigt werden. Der Verbundschlupf kann

jedoch auf Materialniveau simuliert werden. Um im Verankerungsbereich die Kräfteinleitung in die Bewehrungsstäbe abbilden zu können, wird die Fließspannung des Stahls in diesen Bereichen modifiziert. Schlupfsituationen entlang des

**Trotz eingebetteter Modellierung der Bewehrung können durch Verbundfedern auf Materialniveau Schlupfsituationen erfaßt werden.**

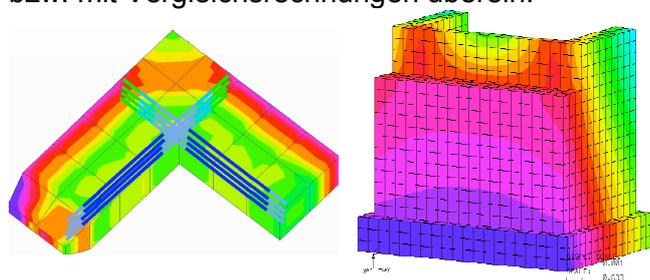
gesamten Stabes können vom nachträglichen Verbundschlupfmodell erfaßt werden [4, 5]. Auf Materialniveau wird der starre Verbund gelöst, indem der Stahl über Verbundfedern (Interfaceelemente) an den Beton gekoppelt wird (Bild 2). Der Federweg ist der Verbundschlupf. Die Stahldehnung ist die Betondehnung abzüglich der Federdehnung. Dieses Modell erfordert keine Modifizierung des Elementnetzes durch den Benutzer und die globale Steifigkeitsmatrix wird nicht vergrößert.



**Bild 2** Illustration des nachträglichen Verbundschlupfmodells

### 3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse von bereits untersuchten Bauteilen (Bild 3a) stimmten gut mit Versuchen bzw. mit Vergleichsrechnungen überein.



**Bild 3** a) Rahmenecke b) Widerlager

Die Erfassung von Eigenspannungszuständen, die während der Hydratation entstehen, ist ein wichtiger weiterer Schritt.

### 4 Literatur

[1] Beer, G.: "BEFE user's and reference manual", CSS, Graz, 1999  
 [2] Fédération internationale du béton: fib bulletin No 1, "Structural Concrete", 1999, vol. 1  
 [3] Elwi, A.E., Hruday, T.M., "Finite Element Model for Curved Embedded Reinforcement", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, April 1989, 115(4), pp. 740-754  
 [4] Hartl H., Sparowitz L, Elgamal A.: "The 3D computational Modeling of Reinforced and Prestressed Concrete Structures",

Bergmeister K. (ed.), Proceedings of the 3rd International PhD Symposium in Civil Engineering, Vienna, 2000, vol. 2, pp 69-79  
 [5] Hartl, H., Elgamal A., "Nicht lineare kontinuumsmechanische Modellierung vorgespannter Konstruktionen (in English), Heft 45 / September 2000, Österr. Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Vienna, pp. 87-96