

## Platte - Experiment und numerische Simulation mit scharfen und unscharfen Daten

Zur Verifikation der entwickelten Modelle wurden u.a. Versuche an einaxial gespannten Platten unter einsinniger und zyklischer Belastung numerisch simuliert; eine dieser Platten wird exemplarisch vorgestellt. Abb. 1 zeigt die Geometrie und Belastung der Platte. Die Platte ist mit vier Stäben 6 (BSt 500 S) bewehrt. Als Verstärkung wurden acht Lagen einer zweiaxialen Struktur (NWM3-022-00: 0°/ 90°, 1100 tex längs im Abstand von 7,51 mm und 620 tex quer im Abstand von 14,51 mm) in 18 mm Feinbetonmatrix aufgebracht.

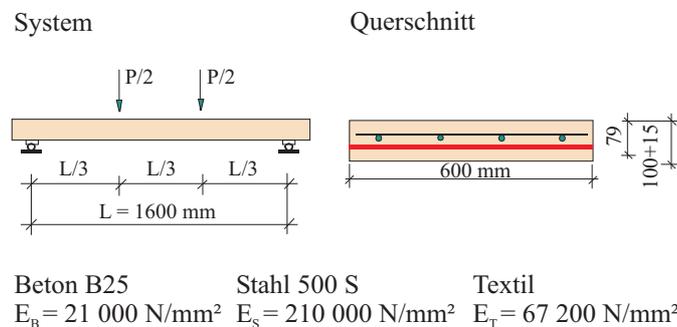


Abbildung 1: Platte: System, Querschnitt, Belastung

Feinbeton und Textil wurden getrennt modelliert. Der Beton der Platte wurde für den einsinnigen Belastungsprozeß alternativ mit dem zweiaxialen Stoffgesetz nach KUPFER/ LINK und der endochronen Beschreibung nach [1] modelliert, ohne daß signifikante Ergebnisunterschiede festgestellt wurden. Die Stahlbewehrung wurde linearelastisch-idealplastisch modelliert. Das Multi-Referenzebenen-Modell nach [2] besitzt 360 finite MRM-Elemente jeweils mit zwei Referenzebenen (Substrukturen) und 18 Subschichten (zehn Altbetonschichten, einer Feinbetonschicht, einer Stahlbewehrungsschicht, fünf Textilbewehrungsschichten). Referenzebene RE 2 befindet sich quasi an der Unterseite der Betonplatte.

In Abb. 2 ist für Verschiebungen in Plattenmitte die Abhängigkeit von der Last aufgetragen. Zum Vergleich wurden die Abhängigkeiten der unverstärkten Platte angegeben. Die textile Verstärkung der Platte führt zu einer Steigerung der Traglast um mehr als 100 %. Die mit dem Multi-Referenzebenen-Modell gewonnenen numerischen Ergebnisse stimmen gut mit den Versuchsergebnissen überein.

Die experimentelle Prüfung von drei theoretisch identischen Platten einer Serie ergab drei unterschiedliche Spannungs-Dehnungs-Abhängigkeiten (Abb. 3). Diese Unschärfe wird durch unscharfe Materialeigenschaften und unscharfe Geometrie verursacht. Die numerische Simulation mit deterministischen Daten liefert jedoch stets das gleiche (nur bedingt zutreffende) Ergebnis. Deshalb wird das Tragverhalten für einsinnige Belastung unter Berücksichtigung unscharfer Daten erneut untersucht.

Unschärfe Eingangsparameter sind die Materialparameter des Altbetons, des Feinbetons und der Textilbewehrung sowie der Geometrieparameter Nutzhöhe der Stahlbewehrung. Die Druckfestigkeit des Altbetons wird mit einer teilweise korrelierten, stationären Fuzzy-Zufallsfunktion beschrieben. Die in Tab.

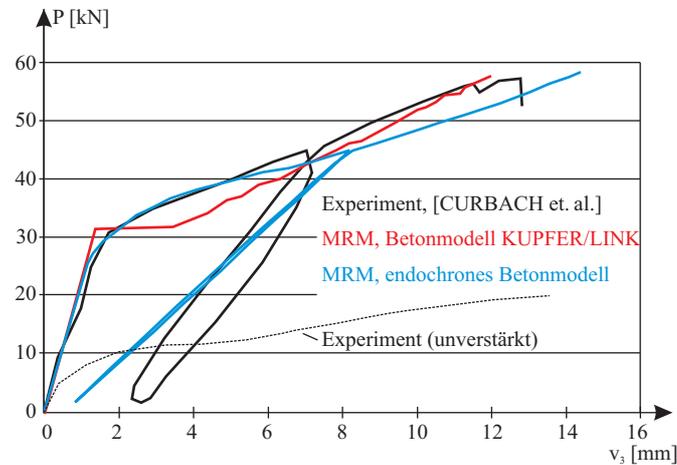


Abbildung 2: Platte: Last-Verschiebungs-Abhängigkeiten

In Spalte 1 angegebenen unscharfen Parameter werden mit vollkorrelierten Fuzzy-Zufallsfunktionen modelliert. Es wurde volle Korrelation über alle materielle Punkte der Platte angenommen. Mit der Fuzzy-stochastischen Finite-Elemente-Methode wird die fuzzy-zufällige Spannungs-Dehnungs-Abhängigkeit im Raum der Fuzzy-Scharparameter ermittelt. Für die Originalfunktion, für die  $\mu = 1$  gilt, sind exemplarisch in Abb. 3 zehn numerisch simulierte Spannungs-Dehnungs-Abhängigkeiten dargestellt. Für die Funktionen 1, 2 und 3 sind die realisierten Werte der voll korrelierten Originalfunktionen in Tab. 1 angegeben. Die zugehörige Verteilung der Druckfestigkeit zeigt Abb. 4.

fuzzy-zufällige Parameter		1	2	3
E-Modul Altbeton	N/mm <sup>2</sup>	21619	22541	22081
E-Modul Feinbeton	N/mm <sup>2</sup>	27450	26522	24358
Druckfestigkeit Feinbeton	N/mm <sup>2</sup>	63,11	89,55	89,88
Zugfestigkeit Feinbeton	N/mm <sup>2</sup>	5,79	7,35	7,60
E-Modul Textil	N/mm <sup>2</sup>	63181	49562	58468
Zugfestigkeit Textil	N/mm <sup>2</sup>	475	525	462
Nutzhöhe Stahlbewehrung	cm	8,78	8,99	8,95

Tab. 1 Scharfe Realisierungen der unscharfen Parameter drei ausgewählter Funktionen nach Abb. 3

## Literatur

- [1] Bazant, Z.P.; Shieh, C.L.: Hysteretic Fracturing Endochronic Theory for Concrete. *Journal of the Engineering Mechanical Division* 106(1980), pp. 929–950; Errata in: *Journal of the Engineering Mechanical Division* 107(1980), pp. 728–729
- [2] Möller, B.; Graf, W.; Hoffmann, A.; Steinigen, F.: Numerical simulation of structures with textile reinforcement. *Computers & Structures*, 83(2005), pp. 1659–1688

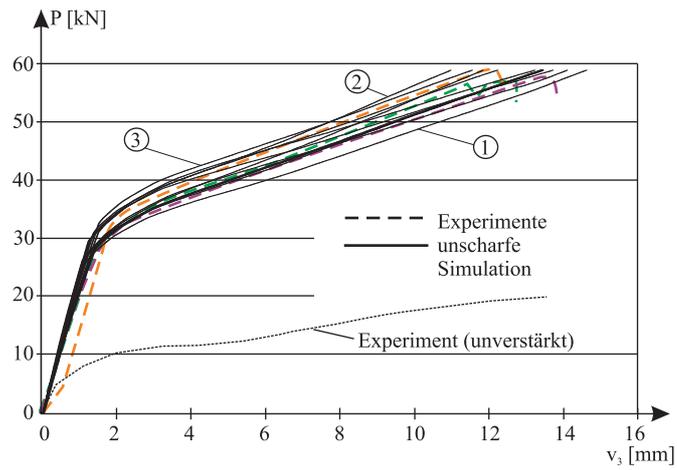


Abbildung 3: Platte: unscharfe Last-Verschiebungs-Abhängigkeiten

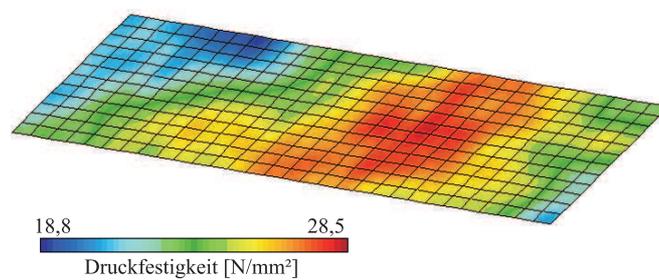


Abbildung 4: Platte: simulierte Verteilung der Druckfestigkeit des Altbetons