

Unscharfe Prozeßsimulationsmodelle für numerisches Tragwerksmonitoring

Projektleiter	Prof. Dr.-Ing. habil. B. Möller Prof. Dr.-Ing. W. Graf
Mitarbeiter	Dipl.-Ing. M. Bartzsch
Finanzierung	DFG
Laufzeit	11/04 - 10/06

Als Alternative zum In-situ-Monitoring wird das prognostische numerische Tragwerksmonitoring entwickelt. Beim numerischen Monitoring wird der Prozeß der Tragwerksalteration – das sind stetige und unstetige Veränderungen, denen Tragwerke während ihrer Nutzung unterliegen – simuliert.

Ziel des Forschungsprojektes ist die algorithmische Formulierung von Tragwerksalteration als unscharfer Prozeß und die Entwicklung eines Prozeß-Simulationsmodells. Für dieses Modell wird die Beschreibung als diskontinuierlicher Fuzzy- und Fuzzy-Zufallsprozeß entwickelt, mit dem sowohl Deterioration als auch Healing in Form nicht monotoner unscharfer Prozesse erfaßt werden können. Das Prozeß-Simulationsmodell wird als

$$\tilde{\mathbf{z}}(\tilde{\mathbf{t}}) = \mathfrak{M}(\tilde{\mathbf{x}}(\tilde{\mathbf{t}}))$$

dargestellt. Dabei sind $\tilde{\mathbf{t}} = (\tilde{\theta}, \tilde{\varphi}, \tilde{\tau})$ die von den Ortskoordinaten $\tilde{\theta} = (\tilde{\theta}_1, \tilde{\theta}_2, \tilde{\theta}_3)$, der Zeit $\tilde{\tau}$ und zusätzlichen physikalischen Parametern $\tilde{\varphi}$, z.B. Temperatur, Luftfeuchte, abhängigen Argumente der diskontinuierlichen und unscharfen Prozesse aller Eingangsgrößen $\tilde{\mathbf{x}}(\tilde{\mathbf{t}})$. Mit $\tilde{\mathbf{z}}(\tilde{\mathbf{t}})$ werden die mit Hilfe des Prozeß-Simulationsmodells \mathfrak{M} berechneten Systemantworten bezeichnet. Die Tilde kennzeichnet unscharfe Größen.

\mathfrak{M} repräsentiert das jeweilige, der Aufgabe angepaßte Abbildungsmodell. Nach numerischer Diskretisierung im Raum der Eingangsparameter gelingt es, für \mathfrak{M} eine deterministische Grundlösung M , d.h. einen baumechanischen Analysealgorithmus anzuwenden. Mit der jeweiligen deterministischen Grundlösung M können folgende Formen der Tragwerksalteration simuliert werden

- Form 1 kontinuierliche Veränderungen infolge physikalischer oder chemischer Veränderungen der Baustoffe, z.B. Korrosion der Bewehrung, Karbonatisierung, Durchfeuchtung, Kriechen und Schwinden
- Form 2 kontinuierliche Veränderungen des Tragwerkes infolge Nutzung, z.B. zunehmende Rißbildung unter Verkehrslasten, Abrieb
- Form 3 quasi punktuelle (diskrete) geplante Veränderungen während der Tragwerkserrichtung (z.B. Bauabschnitte, Verbundherstellung bei Spanngliedern) und nach Umbauten zur Ertüchtigung, Umnutzung und Sanierung
- Form 4 diskrete ungeplante Tragwerksveränderungen infolge von Unfällen, Havarien und Anpralllasten.

Durch Variation der Einflußparameter wird es möglich, alternative Alterationspfade zu simulieren und zu bewerten. Für die Bewertung der Tragwerksveränderungen werden neu zu definierende unscharfe Indikatoren eingeführt.

Diese Indikatoren bewerten

- 1) den aktuellen Zustand eines Tragwerkes in Abhängigkeit von der Steifigkeit, der Modifikation und der Schädigung (health indicator)
- 2) die Sensitivität des modifizierten Tragwerkes
- 3) Redundanz und Robustheit des modifizierten Tragwerkes

Der Indikator 1) wird definiert als

$$\tilde{I}_{h,\tau} = \frac{\text{unscharfe Wirkungsgröße (geschäd. bzw. modifiziertes Tragwerk) zur Zeit } \tau}{\text{unscharfe Wirkungsgröße des ungeschäd. Tragwerkes zur Zeit } \tau=0}$$

Durch Festlegung von Grenzwerten ($I_{h, \text{limit}}$) können Entscheidungen zur Weiternutzung, zur Sanierung oder zum Abbruch qualifiziert gestützt werden.

Der Indikator 2) charakterisiert die Sensitivität eines Tragwerkes gegenüber einer Variation der Eingangsparameter \underline{x} , z.B. einer eingetragenen Störung in Form einer Belastung. Für die Tragwerksbewertung über die Zeit wird die Sensitivität als Prozeß $I_{s,\tau}(\tau)$ erfaßt und für den Zeitpunkt $\tau = 0$ normiert.

$$\tilde{I}_{s,\tau} = \frac{\tilde{I}_s(\tau)}{\tilde{I}_s(\tau=0)} = \frac{d\Delta\tilde{z}(\tau)}{d\Delta\tilde{x}(\tau)} \cdot \left(\frac{d\Delta\tilde{z}(\tau=0)}{d\Delta\tilde{x}(\tau=0)} \right)^{-1}$$

Der Indikator 3) beschreibt die Robustheit eines Tragwerkes mit Hilfe der Shannonschen Entropie. Die Shannonsche Entropie H ist eine Maßzahl für den Grad der Unbestimmtheit eines Versuches, bestehend aus n Ereignissen A_i mit den zugehörigen Auftretenswahrscheinlichkeiten $P(A_i)$. Es bietet sich an, die Shannonsche Entropie auf den Maximalwert (Entropie der Gleichverteilung) zu normieren.

$$\frac{H}{H_{\max}} = \frac{-\sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot \text{ld } P(A_i)}{\text{ld } n} = -\sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot \log_n P(A_i)$$

Durch Einbeziehung bedingter Fuzzy-Wahrscheinlichkeiten soll erreicht werden, daß die mit den Datenmodellen Randomness und Fuzzy-Randomness erfaßten Informationen durch nachträglich gewonnene Daten aktualisiert werden. Damit können aktualisierte Alterationspfade simuliert werden. Das klassische Bayessche Theorem

$$\pi(\psi | x_1, \dots, x_n) = \frac{\pi(\psi) \cdot f(x_1, \dots, x_n | \psi)}{\int_{\psi} \pi(\psi) \cdot f(x_1, \dots, x_n | \psi) d\psi}$$

wird zum Fuzzy-Bayesschen Theorem erweitert.