

## Generalisierungsmethoden für den modularen Präzisionsschnellbau

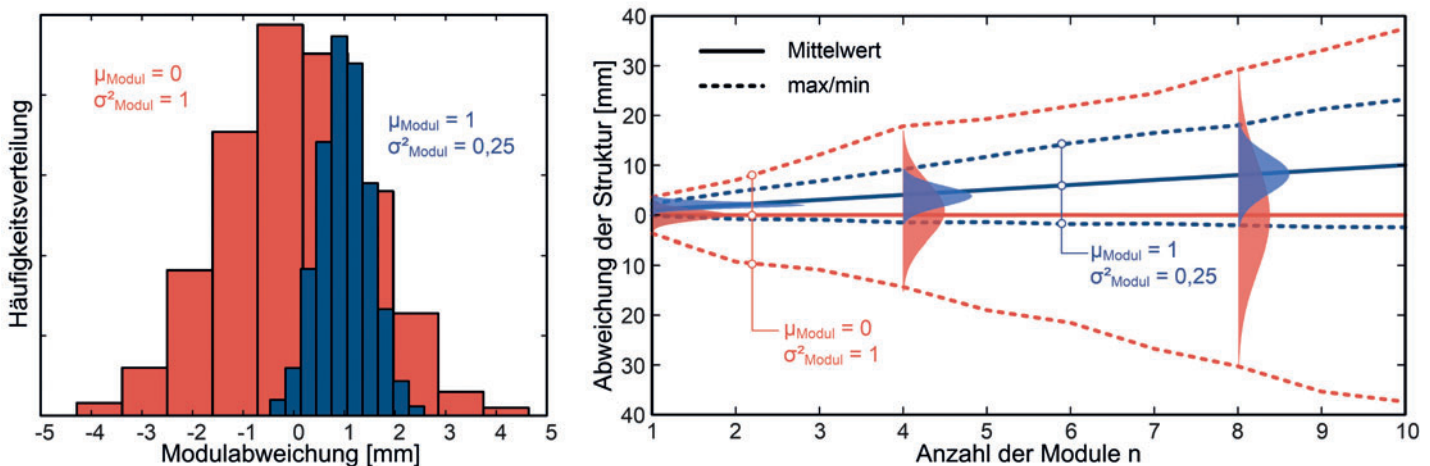
■ Patrick Forman und Peter Mark, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

Die Möglichkeiten des modularen Schnellbaus im Schwerpunktprogramm 2187 [1,2] sind vielfältig und unterscheiden sich in angestrebter Struktur, Modularisierungsmethode, Herstellungs- und Produktionskonzept sowie zugehöriger materieller, geometrischer und prozessbedingter Unschärfe. Für eine quantitative Bewertung der neuen Bauweise bedarf es allgemeingültiger Methoden auf allen Hauptsträngen der zentralen Forschungsfelder von Entwurf, Produktion und Digitalisierung. Dazu werden generalisierte Strukturkonzepte abgeleitet, prozessinduzierte Unschärfen mit geeigneten mathematischen Modellen, z. B. Verteilungsfunktionen und Metamodelle, approximiert und ein digitaler Unterbau errichtet. Mithilfe von geeigneten Dateiformaten und Schnittstellen gelingt so die Verknüpfung von einzelnen unschärfebehafteten Prozessschritten mit den modularisierten Strukturkonzepten. Die Teilprojekte koppeln sich an den digitalen Unterbau und bilden - verallgemeinert - einzelne Teilprozessschritte innerhalb des gesamten Fertigungsprozesses ab.

Im Projekt werden dazu repräsentative Konzepte für Strukturmodelle, vorerst bestehend aus eindimensionalen Stab- oder Balkenelementen bzw. zweidimensionalen Scheiben- oder Plattenelementen, entwickelt. Diese besitzen prozessbedingte Ungenauigkeiten in Geometrie und Tragfähigkeit, welche mit geeigneten (in der Regel) stochastischen Modellen verallgemeinert werden. Die geometrischen und materiellen Ungenauigkeiten der Module haben dabei Auswirkungen auf das globale Struktursystem. Die Abbildung zeigt dies für das einfache Beispiel einer eindimensionalen, statisch bestimm-

ten Struktur, welche sich aus einer variablen Anzahl an  $n$  Modulen zusammensetzt. Diese Module besitzen eine als normalverteilt modellierte geometrische Unschärfe eines Prozessschritts. Exemplarisch sind zwei Modultypen dargestellt. Für den ersten Modultyp (rot) streut die Geometrie eines Moduls um den Mittelwert  $\mu = 0$  mit einer Varianz  $\sigma^2 = 1$ , der zweite Modultyp (blau) um den Mittelwert  $\mu = 1$  mit einer geringeren Streuung von  $\sigma^2 = 0,25$  (s. Abb. links). Die Ungenauigkeiten der einzelnen Module haben geometrische Abweichungen der Gesamtstruktur zur Folge, welche sich für diesen Fall sowohl im Erwartungswert als auch der Streuung linear erhöhen (s. Abb. rechts). Das heißt, je mehr Module für die Gesamtstruktur genutzt werden, desto größer sind die zu erwartenden Geometrieabweichungen.

Ergebnis sind Verteilungsfunktionen, welche aus überlagerten Samplings der Modulunschärfen abgeleitet wurden. Die Verteilungsfunktionen dienen der Bestimmung von erreichbaren Genauigkeiten der neuen Bauweise oder auch der Überprüfung nötiger Präzisionen, z. B. infolge einzuhaltender Fraktilwerte des klassischen Hochbaus [3]. Für statisch unbestimmte Systeme sowie mehrdimensionale Strukturen und eine Überlagerung mehrerer Prozessschritte nimmt zwangsläufig die Komplexität zur Bestimmung resultierender Systemunschärfen zu. Neben geometrischen Unschärfen können ebenso unscharfe Tragfähigkeiten der Modultypen bestimmt werden, z. B. infolge streuender Festigkeiten oder Bauteildicken sowie Einflüsse aus der Produktion.



Herstellungsbedingte Unschärfe von zwei exemplarischen Modulen (links) und die Auswirkung auf eine eindimensionale, statisch bestimmte Gesamtstruktur in Abhängigkeit der Anzahl der verwendeten Module (rechts)

Letztendlich werden einzelne Prozessschritte und Modultypen mit ihren zugehörigen Unschärfen zum ganzheitlichen, verallgemeinerten Fertigungsprozess gekoppelt. Invers betrachtet, können dann über Sensitivitätsanalysen [4] dominante Prozessschritte identifiziert [5] und durch gezielte Kontrollen die Qualitätssicherung verbessert werden. ■

## Literatur

- [1] Forman, P.; Mark, P.: DFG Schwerpunktprogramm 2187: Adaptive Modulbauweisen mit Fließfertigungsverfahren – Präzisionsschnellbau der Zukunft, BetonWerk International 85(6), 2019, S. 12-14.
- [2] Mark, P.; Forman, P.: Interdisciplinary collaboration of structural engineering, production engineering and engineering informatics – precise constructions made in an flux, BFT International 86(2), 2020, p. 11
- [3] Empelmann, M.; Oettel, V.; Remitz, J.; Ahrens, M. A.; Post, R.: Begrenzung der Verformung unter Gebrauchslast, Bemessung nach DIN EN 1992 in den Grenzzuständen von Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit, Hrsg. DAfStb, Heft 630, 2018, S. 104-123. (ISBN 978-3-410-65788-0)

- [4] Sanio, D.; Ahrens, M. A.; Mark, P.: Sensitivity analysis of fatigue lifetime predictions of pre-stressed concrete bridges using Sobol'-indices, Life-Cycle Analysis and Assessment in Civil Engineering: Towards an Integrated Vision – Caspeele, Taerwe & Frangopol (Eds), Taylor & Francis, London, 2019, pp. 1053-1060. (ISBN 978-1-138-62633-1)
- [5] Obel, M.; Sanio, D.; Mark, P.: Screening-Verfahren zur Reduktion komplexer Modelle bei Bestandstragwerken, ce/papers 3(2), 2019; S. 61-67. (doi:10.1002/cepa983)

## WEITERE INFORMATIONEN

RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM **RUB**

spp2187@rub.de  
www.ruhr-uni-bochum.de/spp2187

Ein Muss für Tragwerksplaner

# DBV-Neuerscheinung zur „Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau“

**Der Deutsche Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV) hat mit dem neuen DBV-Heft 38 „Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau – Hintergründe und Erläuterungen zum DBV-Merkblatt“ seine Heftreihe erweitert. Tragwerksplaner in bauausführenden Unternehmen und Ingenieurbüros erhalten mit dieser Neuerscheinung wertvolle Beispielrechnungen für die tägliche Praxis.**

Ergänzend liefert das DBV-Heft 38 viel erfahrungsbasiertes und wissenschaftliches Hintergrundwissen für das Verständnis der Risskonzepte.

Aus dem Inhalt:

- Frank Fingerloos, Lutz Pisarsky: Ursachen, Merkmale, Zeitpunkt und Beeinflussung der Rissbildung
- Frank Fingerloos, Alexander Lindorf: Früher oder später Zwang – zweckmäßige Risskonzepte für Betonbauteile
- Nguyen Viet Tue, Dirk Schlicke, Katrin Turner: Ermittlung der rissbreitenbegrenzenden Mindestbewehrung nach Eurocode 2
- Reinhard Maurer: Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreiten bei dicken Bauteilen infolge Zwang
- Martin Empelmann, Jonas Cramer: Vergleich von normativen Modellen zur Berechnung der Rissbreiten

- Martin Empelmann, Jonas Cramer: Kombinierte Last- und Zwangsbeanspruchung
- Dirk Schlicke, Nguyen Viet Tue, Jörg Bödefeld: Verformungsbasierte Festlegung der Mindestbewehrung
- Andreas Bernecker, Markus Hecht, Frank Fingerloos: Begrenzung der Frischbetontemperatur
- Enrico Schwabach: Beispiel zur Messung und Auswertung von Rissbreiten
- Frank Fingerloos, Alexander Lindorf: Beispielrechnungen zur Rissbreitenbegrenzung

DBV-Heft 38 „Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau – Hintergründe und Erläuterungen zum DBV-Merkblatt“, Fassung Dezember 2019 A4, broschiert. Preis: 58,85 € für DBV-Mitglieder, 117,70 € für Nichtmitglieder, zzgl. Versand- und Bearbeitungskosten ■

## WEITERE INFORMATIONEN



Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.  
www.betonverein.de