

Sicherheit in Technik und Chemie

21.02.2019

IN-SITU RÖNTGENCOMPUTERTOMOGRAPHIE FÜR MECHANISCHE, THERMISCHE UND HYDRAULISCHE PROZESSE

Tyler Oesch, PhD

BAM Fachbereich 8.5 – Mikro-ZfP

Überblick



Computertomographie	3
Messung von Materialeigenschaften	5
In-Situ Prüfung	9
Zusammenfassung	14
Fragen und Kommentare	15

CT Geräte in der BAM



10-180/300 kV 1 µm/10 µm 200 mm **Micro-CT**



30-320 kV 10 µm 600 mm **Micro-CT**



Röntgen-Energie Auflösung Maximaler Probedurchmesser 5-80 keV 0,4-11 µm 25 mm Synchrotron-CT







200 kV-12 MV 500 µm 1000 mm **Hoch-Energy CT**

In-situ Röntgencomputertomographie für mechanische, thermische und hydraulische Prozesse

Computertomographie





Betonprobe mit Stahl

Durchstrahlungsbild









Querschnitt

Messung von Materialeigenschaften: **Unterscheidung von Materialien**





Messung von Materialeigenschaften: Korrosion







Meinel D, Ehrig K, L'Hostis V, Muzeau B, Paetsch O (2014) 5th Conference on Industrial Computed Tomography (ICT), Wels, Österreich. Finanzielle Förderung von der Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) in Paris-Saclay

21.02.2019 In-situ Röntgencomputertomographie für mechanische, thermische und hydraulische Prozesse

Messung von Materialeigenschaften: Faserorientierung







Mitte: Typische Faser Orientierungen für einen individuelle gegossenen Zylinder

Rechts: Faserorientierung des Betonbohrkerns

> Oesch, T., Landis, E., Kuchma, D. (2018) "A methodology for quantifying the impact of casting procedure on anisotropy in fiber-reinforced concrete using X-ray CT," Materials and Structures, Vol. 51, No. 73. https://doi.org/10.1617/s11527-018-1198-8

Finanzielle Förderung vom United States Army Engineer Research and Development Center (ERDC)

In-situ Röntgencomputertomographie für mechanische, thermische und hydraulische Prozesse

Messung von Materialeigenschaften: Faserorientierung





Finite-Element-Netz mit Faserverteilungs- und Faserorientierungsinformationen (rechts) generiert mittels einer CT-Faseranalyse (links)

Buljak, V., Oesch, T., Bruno, G. (2019) "Simulating Fiber-Reinforced Concrete Mechanical Performance Using CT-Based Fiber Orientation Data," Materials, Vol. 12, No. 717. <u>https://doi.org/10.3390/ma12050717</u> Rohdaten von der University of Maine





In-situ Prüfmaschine für Druck bis 2 kN nur mit Lastkontrolle (links) und Druck und Zug bis 5 kN mit Last- und –verschiebungskontrolle (Mitte). Vorversagensverschiebungen in Porenbeton (Autoclaved Aerated Concrete - AAC) während Druckfestigkeitsprüfung (rechts).

Rifai H, Staude A, Meinel D, Illerhaus B, Bruno G (2018) "In-situ pore size investigations of loaded porous concrete with nondestructive methods," Cement and Concrete Research, Vol. 111, pp. 72-80. <u>https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.06.008</u>

In-situ Prüfung: Wasseraufnahme





Eine Betonprobe und die in-situ Wasserbelastungsanlage (links), die innerhalb der CT-Anlage montiert ist, und ein resultierendes CT-Bild von der Betonprobe (rechts)

Oesch, T., Weise, F., Meinel, D., Gollwitzer, G. (2019) "Quantitative In-situ Analysis of Water Transport in Concrete Completed Using X-ray Computed Tomography," Transport in Porous Media, Vol. 127, No. 2, pp. 371–389. <u>https://doi.org/10.1007/s11242-018-1197-9</u> Finanzielle Förderung von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

In-situ Prüfung: Wasseraufnahme





Ein Subtraktionsbild (links), die Darstellung der mittels CT gemessenen zeitbasierten Wasseraufnahme (Mitte links), die Änderung des durchschnittlichen Prozentsatzes (Vol.) des aufgenommenen Wassers bezüglich der Probehöhe zu unterschiedlichen Messzeiten (Mitte rechts) und die Wasserverteilung (Vol.-%) innerhalb einer Betonprobe nach einen Tag Wasserbelastung

Oesch, T., Weise, F., Meinel, D., Gollwitzer, G. (2019) "Quantitative In-situ Analysis of Water Transport in Concrete Completed Using X-ray Computed Tomography," Transport in Porous Media, Vol. 127, No. 2, pp. 371–389. <u>https://doi.org/10.1007/s11242-018-1197-9</u> Finanzielle Förderung von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

In-situ Prüfung: Thermische Belastung





Bilder einer keramisch umhüllten Betonprobe vor (links) und während (rechts) des Heizens (300 °C)

Powierza, B., Stelzner, L., Oesch, T., Gollwitzer, C., Weise, F., Bruno, G. (2019) "Water Migration in One-Side Heated Concrete: 4D In-Situ CT Monitoring of the Moisture-Clog-Effect," Journal of Nondestructive Evaluation, Vol. 38, No. 15. <u>https://doi.org/10.1007/s10921-018-0552-7</u> Finanzielle Förderung vom "Menschen und Ideen" (MI) Programm der BAM.

In-situ Prüfung: Thermische Belastung







Darstellung der durchschnittlichen Feuchtigkeitsänderung (Vol.-%) für jede Schnittebene bezüglich der Probehöhe (links) und die Darstellung von Feuchtigkeitsänderung (Vol.-%) nach 30 (Mitte links), 90 (Mitte rechts), und 150 (rechts) Minuten

Powierza, B., Stelzner, L., Oesch, T., Gollwitzer, C., Weise, F., Bruno, G. (2019) "Water Migration in One-Side Heated Concrete: 4D In-Situ CT Monitoring of the Moisture-Clog-Effect," Journal of Nondestructive Evaluation, Vol. 38, No. 15. <u>https://doi.org/10.1007/s10921-018-0552-7</u> Finanzielle Förderung vom "Menschen und Ideen" (MI) Programm der BAM.

Zusammenfassung



CT kann wesentliche Informationen für die Entwicklung von präzisen und realistischen numerischen Modelle zur Verfügung stellen

- Kalibrierung basiert auf quantitativen Materialeigenschaften
- Das Volumen, die Oberfläche, die Orientierung und die Verteilung von internen Materialkomponenten und Rissen

In-situ CT-Prüfung

- Ermöglicht die direkte CT-Beobachtung von Proben unter Prüfbedingungen (z.B. unter Last, Wasserbelastung, Temperaturgradient, usw.)
- Ermöglicht die Implementierung zusätzlicher ZFP-Verfahren (z.B. Resistivität, US, AE), um zwischen den punktuellen CT-Messungen eine kontinuierliche Veränderung der Probe zu dokumentieren
- Ideal geeignet als Referenzverfahren für Kalibrierung bzw. Validierung von anderen zerstörungsfreien Prüfverfahren sowie für die Datenfusion



Fragen und Kommentare