

Mehrfeldmodellierung von Beton mit diskreten Element Methoden

Christian Flack

Arbeitsgebiet

Der Baustoff Beton ist einer der am häufigsten eingesetzten Werkstoffe des Bauwesens. Aus den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten ergeben sich sehr unterschiedliche Beanspruchungen. Diese Arbeit befasst sich mit der numerischen Modellbildung zur Simulation verschiedener Alterungsprozesse.



Schäden an Betonbauwerken

Forschungsziel

Ziel ist die Entwicklung eines gekoppelten numerischen Modells zur Beschreibung des Materialverhaltens von Beton mit diskreten Element Methoden unter Berücksichtigung von verschiedenen Umwelteinflüssen. Der Fokus der Modellbildung liegt dabei auf der Mesostruktur des Betons, die einen wesentlichen Einfluss auf das makroskopische Verhalten hat.

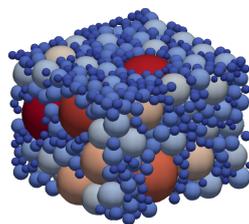
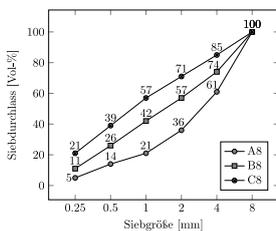


Mesostruktur des Betons

- mechanische Einflüsse
- thermische Einflüsse
- chemische Einflüsse

virtuelle Struktur

Die Erzeugung der virtuellen Struktur erfolgt in Anlehnung an die Sieblinien nach Norm



Sieblinie und simulierte Struktur

Mechanik

Zentrales-Differenzen-Verfahren zum Lösen der Bewegungsgleichung

$$\left. \begin{aligned} \frac{d(\mathbf{M}_i \dot{\mathbf{x}}_i)}{dt} &= \mathbf{f}_i \\ \Theta_i \dot{\boldsymbol{\omega}}_i + \boldsymbol{\omega}_i \times \Theta_i \boldsymbol{\omega}_i &= \mathbf{m}_i \end{aligned} \right\} \ddot{\mathbf{x}}_i = f(\mathbf{x}_i, \dot{\mathbf{x}}_i, t)$$

\mathbf{f}_i und \mathbf{m}_i fassen alle auf das Partikel einwirkenden Kräfte bzw. Momente (sowohl intern als auch extern) zusammen.

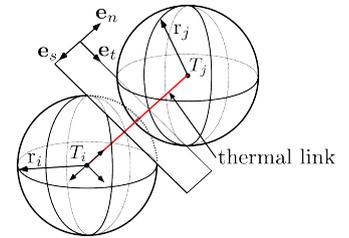
Temperatur

Die Gleichung der diskreten Wärmeleitung entspricht im Wesentlichen der Grundgleichung für Wärmeleitung in Festkörpern

$$C_i \cdot \dot{T}_i + \sum_{j=1}^m Q_{ij} = 0$$

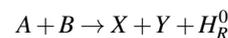
$$Q_{ij} = k_{ij} \cdot (T_j - T_i)$$

$$k_{ij} = \frac{1}{\frac{\eta_i}{r_i} + \frac{\eta_j}{r_j}}$$



chemische Reaktionen

Berücksichtigung beliebiger Reaktionen der Form



Bestimmung der Reaktionsenthalpie

$$H_R^0 = \sum \Delta H_B^0(\text{Produkte}) - \sum \Delta H_B^0(\text{Edukte})$$

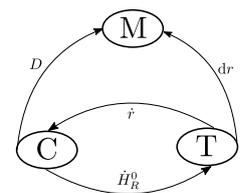
Wärmeenergie pro Zeitschritt

$$Q(A) = \frac{m(A)}{M(A)} \cdot \dot{H}_R^0$$

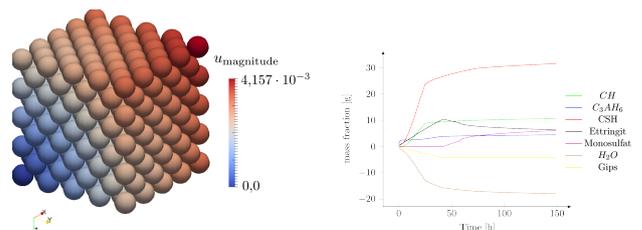
Kopplungsbedingungen

Das nachfolgende Schema verdeutlicht die im Modell enthaltenen Kopplungen der beschriebenen Felder

- D Schädigung
- Δr Radiusänderung
- \dot{r} Reaktionsgeschwindigkeit
- \dot{H}_R^0 Änderung der Reaktionsenthalpie



Ergebnisse



Gleichmäßige Ausdehnung infolge Erwärmung und Erfassung der Masseänderung an einem Partikel infolge Hydratationsreaktionen