

Diskrete-Elemente-Simulationen  
zum mehraxialen Schädigungsverhalten  
von Beton

Dissertation

Dirk Sören Reischl

Institut für Massivbau  
Technische Universität Dresden  
2021

Eingereicht am 6. September 2021.

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Manfred Curbach  
Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Bischoff  
Dr.-Ing. Falk Wittel

Tag der mündlichen Prüfung: 7. Dezember 2021

Die Methode der Diskreten Elemente ist eine neue, alte Methode, beruhend auf den Newtonschen Axiomen, praktikabel geworden durch die rasante Entwicklung der Rechentechnik in den vergangenen fünfzig Jahren. Es handelt sich um einfach zu beschreibende, vielfältig einsetzbare, aber rechenintensive Methode. Die Methode der Diskreten Elemente ist jene Methode, von der viele Menschen – nicht nur Laien – glauben, dass es die Methode der Finiten Elemente sei.

Die Methode ermöglicht es, mit vergleichsweise geringem Programmieraufwand spektakuläre Ergebnisse zu erzielen. Die Notwendigkeit zur Lösung schwach besetzter großer linearer Gleichungssysteme entfällt ebenso, wie eine komplizierte Netzgenerierung, die Assemblierung von Systemmatrizen und die damit verbundenen, aufwändigen Optimierungsstrategien.

Die Methode der Diskreten Elemente gehorcht implizit streng jenen – stets gültigen – Energieprinzipien, auf die sich andere Methoden wie die Methode der Finiten Elemente bei Herleitungen explizit berufen, während sie tatsächlich lediglich mit Näherungen für (sehr) kleine Verformungen arbeiten.

Bei entsprechender Auslegung lassen sich alle an der Simulation beteiligten Elemente als materielle Bestandteile oder beruhend auf der Wechselwirkung materieller Bestandteile auffassen. Kontaktelemente oder gar geeignet platzierte Risselemente werden nicht benötigt. Risse äußern sich durch die Abwesenheit von Materie. Das Phänomen der Überadditivität ist in Partikelsimulationen von vornherein angelegt. Partikelmethode eignen sich daher hervorragend zum modellhaften Studium komplexer Systeme.

Die Parameteridentifikation und Parameteranpassung von Diskrete-Elemente-Modellen gestaltet sich schwierig, sobald die Gültigkeit des Superpositionsprinzips nicht mehr gegeben ist. Dies ist jedoch kein Mangel der Methode, sondern Folge von Interaktion und Überadditivität.

Die Methode eignet sich hervorragend zur Generierung virtueller Probekörper und zum Preprocessing im Zusammenwirken mit anderen Simulationsmethoden. Visualisierungen der mit Partikelmethode erhaltenen Ergebnisse sind von hohem anschaulichem und didaktischem Wert. Die Methode ist sehr flexibel, so dass die Simulationsergebnisse bei entsprechender Parametergestaltung keiner künstlichen Überhöhung bedürfen.

Die Methode der Diskreten Elemente ist eine entdeckende Methode. Sie besitzt – wie jede andere Methode – Methodencharakter, die auf ihrer Grundlage entwickelten Modelle – wie alle Modelle – Modellcharakter.

The Discrete Element Method is a both new and well-known method based on Newton's laws, a method that has become feasible thanks to the rapid development of computer technology within the past fifty years. The method is very easy to describe and widely applicable, though computationally challenging. The Discrete Element Method is a method, some people – even engineers – believe the Finite Element Method to be.

The method yields spectacular results by means of minimal conceptual and programming effort. Neither is there the necessity to assemble and solve large systems of equations, nor the need of sophisticated strategies of variation or optimization.

The Discrete Element Method is implicitly subject to principles the Finite Element Method and other methods explicitly refer to while only taking them into consideration for small displacements.

If appropriately designed, all elements involved in the simulation are to be considered as material rather than immaterial components. No contact elements or well-placed crack elements are needed. Cracks become apparent by the absence of matter. The phenomenon of super-additivity is an intrinsic part of particle simulations. Thus, particle simulations, in particular Discrete Element simulations, are extremely suitable to study complex systems.

Parameter identification and calibration of Discrete Element Methods is complicated, as soon as linearity is no longer appropriate to be supposed. This, though, is a consequence of interaction and super-additivity, not a shortcoming of the method.

The method allows to generate virtual specimens as needed by simulations, performed by the Discrete Element Method itself or by other computational techniques. Visualisations of the results obtained by the Discrete Element Method may illustrate both basic and elaborate scientific concepts in a broad field of applications.

The Discrete Element Method is a method of discovery and exploration. It's a method, though, as well as the models based on its concept are to be considered only as models, too.