

Zeitadaptive Finite-Elemente-Berechnungen thermomechanisch gekoppelter Problemstellungen sowie Mortarkontakt

Dipl.-Ing. Matthias Grafenhorst

Eine wesentliche Aufgabe im heutigen Ingenieursalltag ist die optimale Auslegung und betriebsnahe Dimensionierung von technischen Bauteilen. Dabei wird im Rahmen der Bemessung eines Bauteils dem Aspekt Leichtbau eine zunehmende Bedeutung eingeräumt. Damit dennoch bei den geringen Sicherheitsreserven auftretende Lasten risikolos abgeleitet werden können und die Funktion der technischen Komponenten nicht beeinträchtigt wird, sind hoch genaue Vorhersagen zum Verhalten der physikalischen Systeme erforderlich. In diesem Kontext hat sich, getrieben durch die rasante Entwicklung der Computertechnologie, die computergestützte numerische Simulation als leistungsfähige Alternative zu standardisierten Berechnungsverfahren aus Regelwerken etabliert. Innerhalb dieser weitgehend in sich geschlossenen Ingenieursdisziplin der numerischen Simulation nimmt die Methode der finiten Elemente aufgrund ihrer flexiblen Einsatzmöglichkeiten eine zentrale Rolle ein. Als integraler Bestandteil einer CAE-Prozesskette kommt die Finite-Elemente-Analyse durch Aufdeckung konstruktiver Schwachstellen bereits während der Konzeptabwägung einem Werkzeug der Prävention gleich, welches in erheblichem Maß dazu beiträgt, die wirtschaftlichen Anforderungen in Bezug auf eine Verkürzung der Entwicklungszeiten und Senkung der Herstellungskosten zu realisieren. Zu diesem Zweck ist die Weiterentwicklung von numerischen Verfahren zur effizienteren und präziseren Simulation Gegenstand zahlreicher aktiver Forschungsanstrengungen.

Die Arbeit liefert einen Beitrag zur Entwicklung leistungsfähiger numerischer Lösungsstrategien im Bereich der Finite-Elemente-Methode. Unter diesem Gesichtspunkt werden in der Monographie im Rahmen einer modernen konsistenten Raum- und Zeitdiskretisierung die numerische Simulation thermomechanisch gekoppelter transienter Strukturberechnungen in der Dynamik sowie von Interfacekopplungen, mit Bezug zu geometrisch nichtlinearen unilateralen Kontaktproblemen, unter Einbeziehung von Konstitutivmodellen vom Evolutionsgleichungstyp umgesetzt. So sind konkret Zeitintegrationsverfahren höherer Ordnung in Gestalt von steif-genauen diagonal-impliziten Runge-Kutta Verfahren (DIRK) oder der Generalized- α Methode in Verbindung mit einem Mehrebenen-Newton-Verfahren auf die raumdiskretisierten Gleichungen, die als Resultat der Raumdiskretisierung mit der h-Version der Finite-Elemente-Methode hervorgehen, und auf die in einem gewöhnlichen Differentialgleichungssystem erster Ordnung zusammengefassten Entwicklungsgleichungen für die inneren Variablen, welche das inelastische Materialverhalten adäquat beschreiben, angewendet worden. Mit der Erweiterung des selbst entwickelten numerischen FEM-Berechnungswerkzeugs um eine auf der Mortar-Methode basierenden Kontaktformulierung werden die Analysen zum Fehlerverhalten der Zeitintegrationsverfahren auch auf nicht glatte Interfaceprobleme ausgeweitet. Auf der Grundlage einer modernen DAE-Interpretation wird die zur Behandlung von Kontaktproblemen in Kombination mit inelastischen Materialverhalten vom Evolutionsgleichungstyp zum Einsatz kommende Lösungsstrategie erstmalig bewusst mit einem halbglatten Multilevel-Newton-Algorithmus in Verbindung gebracht. Dieser gestattet in einem einzigen Newton-Raphson-Verfahren auf globaler Ebene eines Finite-Elemente-Programms alle Nichtlinearitäten, resultierend aus der Geometrie, dem Material und der Kontaktinteraktion, aufzulösen.

Um die Genauigkeit und damit die Verlässlichkeit der numerischen Lösung zu kontrollieren sowie zur Reduktion des Berechnungsaufwands, kommt eine adaptive Zeitschrittweitensteuerung zum Einsatz, die quasi keinen numerischen Mehraufwand verursacht.

Anhand eines breiten Spektrums an numerischen Beispielen werden charakteristische Merkmale der entwickelten Lösungsstrategie, wie Effizienz und Präzision, aufgezeigt.