

Ein Ansatz zur automatisierten Berücksichtigung von Modellierungsrichtlinien in numerischen Simulationen

Berlin, 19.03.2020

Prof. Dr.-Ing. Darius Friedemann (HTW-Berlin)

Jörg Rademann (HTW-Berlin)

Bastian Näser (BMW Group)

Ausgangssituation

In großen Unternehmen existiert seit langem die Bestrebung den Aufbau von Simulationsmodellen so weit wie möglich zu automatisieren. Hierdurch können perspektivisch Zeit und Kosten in der Entwicklung eingespart werden. Eine Hürde bei der Automatisierung stellt die Berücksichtigung von Modellierungsrichtlinien dar, die mittlerweile in nahezu allen Entwicklungsumgebungen existieren. Teilweise liegen für unterschiedliche Fachabteilungen derselben Firma unterschiedliche Modellierungsrichtlinien für eine Komponente vor. Dies wird am Beispiel der Entwicklung eines Airbags erläutert.

Für Airbags existieren im Lastenheft unterschiedlichste Vorgaben, was deren Eigenschaften in Bezug auf Entfaltungsagressivität, Dichtigkeit, Standzeit und Energieabsorptionsverhalten angeht. Diese Eigenschaften werden mit Hilfe von verschiedenen Simulationsmodellen optimiert. Die Standzeit und das Energieabsorptionsverhalten werden in Insassenschutzsimulationen untersucht. Hierzu wird häufig die sogenannte „Uniform Pressure Methode“ (UPM-Airbag) verwendet, also vereinfachend angenommen, dass im gesamten Airbag der gleiche Gasdruck herrscht. Es sind Kantenlängen um $s = 5$ mm gängig. Für die Optimierung der Entfaltung des Luftsacks ist die UPM hingegen eine zu starke Vereinfachung. Die Effekte der Gasdynamik verursachen Druckgradienten innerhalb des Airbags und müssen mitabgebildet werden. Hierzu eignet sich die „Coupled Euler Lagrange“ Methode (CEL) oder Partikelmethode, wie „Smooth Particel Hydrodynamics“ (SPH) bzw. „Lumped Kinetic Model“ (LKM). Es werden Kantenlängen von $s = 3$ mm und teilweise noch deutlich weniger verwendet. Das Beispiel zeigt, dass die verwendete Modellierungstechnik vom Anwendungsgebiet einer numerischen Simulation abhängt. Die diversen Anforderungen zur numerischen Abbildung von Hardwarekomponenten für unterschiedliche Anwendungsgebiete, sind über Jahre hinweg entwickelt und dokumentiert worden. Ziel ist es, dass sie von allen Anwendern (m/w/d) berücksichtigt werden.

Automatisierte Berücksichtigung von Modellierungsrichtlinien

Für die solverunabhängige Beschreibung von Simulationsmodellen wurde an der HTW Berlin ein Workflow und eine Modellierungssprache namens SMILE (Unified Simulation Modelling Language) entwickelt. Durch eine spezielle Modellierungsstrategie können unter Anwendung des zugehörigen Workflows Simulationsmodelle vollautomatisiert erstellt werden. In den Umfängen von SMILE existiert die Möglichkeit, maschinenlesbare Modellierungsrichtlinien zu erstellen. Dem Simulationsanwender (m/w/d) wird damit die Möglichkeit gegeben, Simulations-Knowhow in Form von Modellierungsrichtlinien zu nutzen, zu editieren und zu erstellen. Das zugehörige Datenformat ist hierarchisch gegliedert in vier Ebenen. In der ersten Ebene können solverspezifische Modellierungsrichtlinien abgelegt werden. Diese werden üblicherweise durch den jeweiligen Softwarehersteller zur Verfügung gestellt. Die zweite Ebene bezieht sich auf ein Anwendungsgebiet. Dort werden beispielsweise Modellierungsrichtlinien für die Entwicklung im Bereich „Crash“ abgelegt. In der dritten Ebene können die Richtlinien der Entwicklungsdisziplin, falls nötig, weiter unterteilt werden. In dieser Ebene werden Richtlinien für einen speziellen Anwendungsfall beschrieben (z.B. „Airbagaufblasversuch“, innerhalb des Anwendungsfalles „Crash“). Für den Endanwender (m/w/d) wird die vierte und letzte Ebene zur Verfügung gestellt, um bereits existierende Modellierungsrichtlinien zu überschreiben. Dies kann im Einzelfall sinnvoll sein, da nicht jede Simulation einer eindeutigen Disziplin zugeordnet

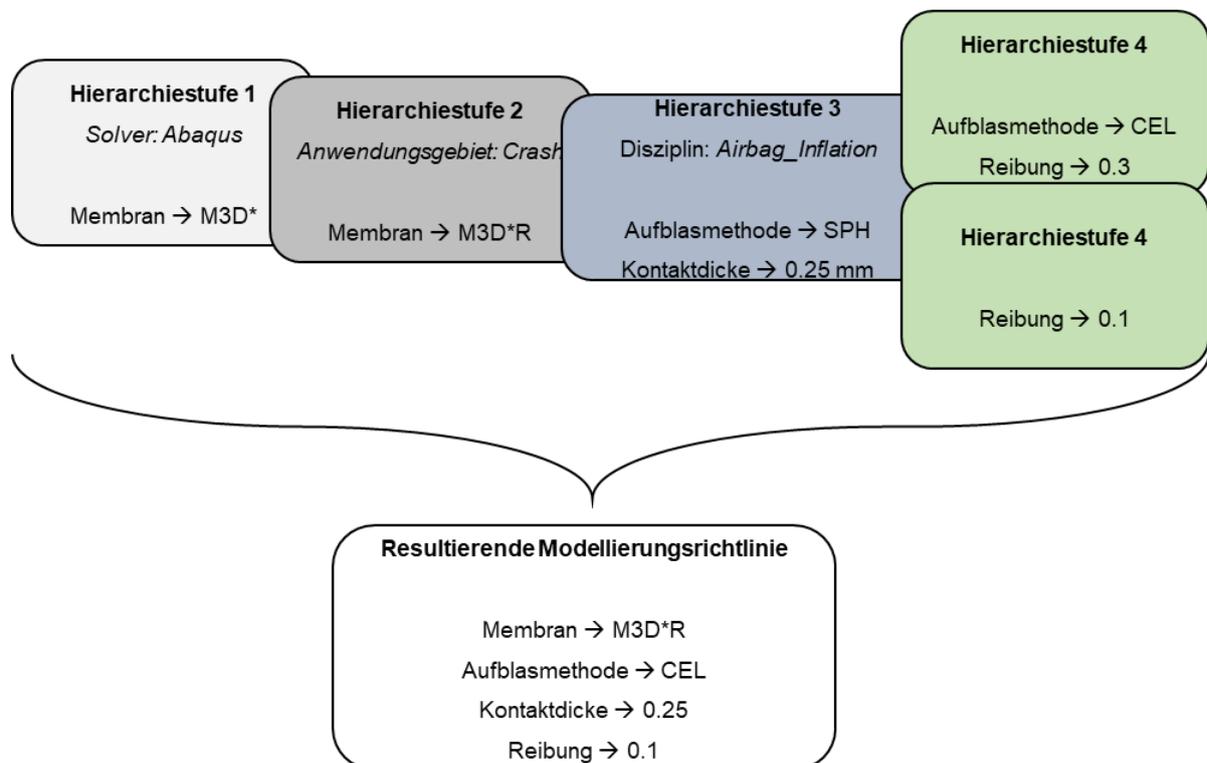


Abbildung 1 Hierarchiestufen von SMILE Modellierungsrichtlinien

werden kann. Des Weiteren ist es in seltenen Fällen nötig, unabhängig von Modellierungsrichtlinien arbeiten zu können. Diese Möglichkeit wird dem Anwender (m/w/d) durch die letzte Ebene gegeben.

Welche Modellierungsrichtlinien effektiv angewendet werden, wird im Wesentlichen im *Configurationfile*¹ bestimmt. Dort werden die Modellierungsrichtlinien der Stufen eins und zwei automatisch durch die Wahl des Solvers und der Disziplin festgelegt. Weiter können dort mit dem Element *Userguideline* Modellierungsrichtlinien der Stufen drei und vier zugewiesen werden. SMILE löst die verwendeten Modellierungsrichtlinien in der Reihenfolge der Hierarchiestufen auf. Das bedeutet, dass Modellierungsrichtlinien höherer Stufe die Modellierungsrichtlinien von niedrigeren Stufen ergänzen oder überschreiben (letzteres, falls ein entsprechender Eintrag bereits vorhanden ist). Bei Verwendung mehrerer Modellierungsrichtlinien der gleichen Hierarchiestufe überschreiben die Definitionen der zuletzt definierten Modellierungsrichtlinie ggf. vorher definierte Modellierungsrichtlinien. Dies ist insbesondere in der letzten Hierarchiestufe von Bedeutung, da hier in der praktischen Anwendung häufig Kombinationen aus vorgefertigten Bausteinen der Modellierungsrichtlinien verwendet werden. Die logische Abfolge beim Überschreiben bereits vorhandener Modellierungsrichtlinien wird in Abbildung 1 als Beispiel grafisch verdeutlicht und im Folgenden erläutert.

In einem SMILE *Configurationsfile* sind die Modellierungsrichtlinien der Stufen drei und vier manuell zugewiesen worden. Die Vorgaben der Stufen eins und zwei werden daher automatisch ausgewählt. In diesem Beispiel wurden die Attribute „Solver“ (=Abaqus) und „Disziplin“ (=Crash) im Konfigurationsfile definiert. Dies führt dazu, dass die solverspezifischen Modellierungsrichtlinien des Crashcodes Abaqus verwendet werden. Im Beispiel aus Abbildung 1 würden daher SMILE Membran-Elemente theoretisch zu Abaqus M3D4, M3D3 Elementen übersetzt. Die Modellierungsrichtlinie für die Disziplin Crash, überschreibt diese Information allerdings. Daher werden die SMILE Membran-Elemente effektiv zu M3D4R/ M3D3R Abaqus Elementen übersetzt. Die Modellierungsrichtlinie der Stufe drei ergänzt die Informationen damit, dass Airbags mit Hilfe der SPH-Methode modelliert werden sollen und eine Kontaktdicke von $d = 0,25$ mm haben. Im vorliegenden Beispiel will der Anwender (m/w/d) aber abweichend vom normalen Procedere den Airbag mit Hilfe der CEL Methode abbilden. Die zugehörige Modellierungsrichtlinie wird daher in Stufe 4 überschrieben. Beispielhaft wird davon ausgegangen, dass in der Modellierungsvorgabe für CEL Aufblasversuche eine Reibung beim Selbstkontakt von $\mu = 0,3$ vorgegeben ist. Auch diese möchte der Nutzer

¹ Das *Configurationfile* ist die Datei, welche im SMILE Workflow einem Simulationsmodell einen Lastfall zuweist. Mit Hilfe dieser Datei kann aus einem zunächst noch rein physikalisch beschriebenen Simulationsmodell automatisiert ein rechenfähiges Inputdeck erzeugt werden. Näheres hierzu unter https://smile.htw-berlin.de/wp-content/uploads/2021/01/SMILE_Introduction_german_2020_12_16.pdf

(m/w/d) verändern. Er nutzt hierzu eine weitere, selbst erstellte Modellierungsrichtlinie der Stufe vier. Diese wird zuletzt angezogen und überschreibt daher die Reibungsdefinition von ursprünglich $\mu = 0,3$ auf nun $\mu = 0,1$.

Mit der Aufteilung der Modellierungsrichtlinien auf vier Ebenen, kann zusätzlich eine Beschränkung der Zugriffsrechte eingeführt werden. Dies wird in *Abbildung 2* verdeutlicht. Da die erste Ebene grundsätzliche, solversyntaxbezogene Modellierungsempfehlungen des Softwareherstellers beinhaltet, sollten letztere von diesem zur Verfügung gestellt und gepflegt werden. Die Ebenen zwei und drei bieten die Möglichkeit, Simulations-Knowhow des Unternehmens eigenständig zu entwickeln und zu standardisieren. Es ist vorstellbar, dass sich eine eigene Abteilung oder einzelne Fachverantwortliche um die Entwicklung der SMILE Modellierungsrichtlinien der Ebenen zwei und drei kümmern.

In der komplexen Welt der Komponentenentwicklung, wird es in Einzelfällen notwendig sein, individuelle Veränderungen an einem Simulationsmodell vorzunehmen, die nicht durch die standardisierten Modellierungsrichtlinien abgedeckt sind. Dies kann der Fall sein, wenn Untersuchungen zu Instabilitäten, numerischen Problemen oder zur Berechnungsdauer durchgeführt werden. Diese Anpassungen können von jedem Anwender mittels einer eigenen Modellierungsrichtlinie der vierten Ebene vorgenommen werden. Somit wird sowohl ein hohes Maß an Standardisierung als auch an Flexibilität zur Verfügung gestellt.

Hierrarchiestufe	1	2	3	4
Modellierungsrichtlinie bezieht sich auf	Solver	Anwendungsgebiet	Disziplin	User
Modellierungsrichtlinie beinhaltet typischerweise	Empfehlungen des Softwareherstellers	Vorgaben, die für die gesamte Fachabteilung gelten	Vorgaben, die für die spezielle Entwicklungsdisziplin gelten	eventuell notwendige Einzelfallanpassungen
Bearbeitungsrechte der Modellierungsrichtlinie	Superuser - Solver	Superuser - Fachabteilung	Superuser - Fachgruppe	User

Abbildung 2: Zugriffsrechte der jeweiligen Modellierungsrichtlinien

In den Umfängen von SMILE sind für Testzwecke für die Solver Abaqus und LS-Dyna solverabhängige Modellierungsrichtlinien (Hierarchiestufe eins), für die Disziplin „Crash“ (Hierarchiestufe zwei) und den Anwendungsfall, also die „Usage“ „Airbag_Inflation“ (Hierarchiestufe drei) bereits als Beispiel definiert. Weitere Disziplinen und Anwendungsfälle müssen den Modellierungsrichtlinien eigenständig hinzugefügt werden, um einen sinnvollen automatisierten Übersetzungsprozess realisieren zu können. Die Modellierungsrichtlinien werden in SMILE spezifischem XML-Syntax abgelegt. Die Dokumentation des zugehörigen Syntax ist auf der Homepage <https://smile.htw-berlin.de> verfügbar.

Fazit

Die standardisierte und maschinenlesbare Ablage von Modellierungsrichtlinien führt zu diversen Vorteilen im simulationsgestützten Entwicklungsprozess. Der größte Nutzen entsteht hierbei durch den Qualitätsgewinn. Durch die automatisierte Berücksichtigung der Modellierungsrichtlinien kann sichergestellt werden, dass diese grundsätzlich eingehalten werden. Des Weiteren wird der Modellerstellungsprozess vereinfacht, da die Endanwender (m/w/d) nicht mehr aufwendig geschult werden müssen, wann welche Modellierungsrichtlinien einzuhalten sind und wie diese zu verstehen sind. Der Simulationsprozess wird vielmehr demokratisiert, da für den Modellaufbau weniger numerisches KnowHow benötigt wird. Die Optimierung der Komponenten kann somit von Experten der Komponentenenwicklung durchgeführt werden, während sich Experten der numerischen Abbildung um die Gestaltung und Wartung der Modellierungsrichtlinien kümmern. Letztlich trägt eine automatisierte Modellerstellung zu einer Beschleunigung der Entwicklungsprozesse bei. Insbesondere die Modularisierung der Entwicklungsprozesse hat in der Vergangenheit dazu beigetragen, dass die Komponenten eines Simulationsmodells von unterschiedlichen Firmen und Fachabteilungen beigesteuert werden. Die flächendeckende Qualitätskontrolle für alle Submodelle unterschiedlicher Herkunft stellt nach wie vor eine Herausforderung dar. Diese kann durch Automatisierung entscheidend besser bewältigt werden.