

CAE-Forum:

Robustheit in der Simulation Prozesse und Möglichkeiten – Ein Erfahrungsaustausch

Friedrich Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg
23. Juni 2010

Das 5. CAE-Forum, das im Juni 2010 an der Universität Erlangen stattfand, beschäftigte sich mit dem Thema „Robustheit in der Simulation“ und wurde von Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack, Mitglied der TechNet Alliance und Lehrstuhlinhaber für Konstruktionstechnik an der Universität Erlangen, geleitet. Wie auch die vier bisherigen Foren diente es dem Erfahrungsaustausch und gab Diskussionen, die durch kurze Impulsvorträge angestoßen wurden, sehr viel Raum. Zu den Teilnehmern des Forums gehörten CAE-Anwender aus den unterschiedlichsten Branchen unter anderem von den Firmen Areva, Astrium, Brose, Federal Modul und Osram.

Die Impulsvorträge beleuchteten die Themen: Stochastische FEM-Simulation im Kontext des Robust Design (Uni Erlangen, Andreas Stockinger), Multi-Domain-Design und modularer Simulationsbaukasten zur Erhöhung der Stabilität und Robustheit technischer Systeme mittels Simulation (AUDI, Karl Gruber), Robustheit in der virtuellen Produktentwicklung – Stand der Integration (Dynardo, Johannes Will), Optimierung medizintechnischer Produkte mit ANSYS Workbench (Siemens, Marc Hainke) sowie Schlüsselfaktoren für robuste CAE-Modelle im Antriebsstrang (Schaeffler, Jochen Sarfert).

Immer leistungsfähigere und einfacher handhabbare Simulations-Software (CAE-Anwendungen – Computer Aided Engineering) führen dazu, dass eine immer realistischere Modellbildung von bestehenden oder geplanten Produkten möglich wird. Dadurch sind Ingenieure heute in der Lage, schon vor der Fertigung eines realen Prototypen mit Hilfe des virtuellen Prototypen detaillierte Aussagen über die Eigenschaften eines geplanten Produktes zu machen. Dementsprechend sind mit CAE-Anwendungen einzelne Bauteile, größere Baugruppen und komplette Produkte umfassend analysierbar und effizient optimierbar.

Mit Hilfe von stochastischen Methoden lassen sich die Einflüsse von Streuungen einzelner Modellparameter auf das Gesamtverhalten des jeweiligen Systems analysieren, erläuterte Andreas Stockinger von der Uni Erlangen. Dabei können sowohl Änderungen bezüglich der geometrischen Ausprägung als auch veränderte Randbedingungen, beispielsweise durch Streuungen bei den Materialkennwerten oder den Fertigungstoleranzen, berücksichtigt werden. Ebenso lassen sich nutzungsbedingte Veränderungen im Produktlebenszyklus – wie Abnutzungserscheinungen und Alterungsprozesse – in die CAE-Simulationen einbinden.

Damit lässt sich die Robustheit einer Konstruktion beziehungsweise eines Produktes bereits in einer frühen Phase der Produktentwicklung beeinflussen. Die stochastische Analyse dient dabei als Simulationsverfahren, um die Empfindlichkeiten des Gesamtsystems bezüglich der Modifikation einzelner Modellparameter analysieren zu können. Ziel ist es, ein Produkt so zu optimieren, dass es weniger sensitiv gegen wenig beeinflussbare Streuungen von Eingangsgrößen ist und folglich die Variabilität des Produktverhaltens minimiert wird.

Bei einem großen Teil der CAE-Anwender ist das Bewusstsein für das Nutzenpotenzial des Robust Design noch gar nicht vorhanden, und wenn, muss die Akzeptanz bei allen Beteiligten noch weiter erhöht werden. Die Mitarbeiter in der Produktentwicklung müssen erfahren, dass eine Robust-Design-Methode gibt (Know-that), müssen wissen, wie sie einsetzbar ist (Know-how) und das vorhandene Nutzenpotenzial erkennen (Know-why).

Um die Akzeptanz der Robust-Design-Methode zu erhöhen, ist es sinnvoll, den anfänglich notwendigen Mehraufwand dem anschließenden Nutzen gegenüberzustellen, damit die erzielbare Effizienz verdeutlicht wird. Außerdem muss mit den Anwendern ein handhabbares Konzept erarbeitet werden, das von einem schrittweisen Ausbau der Robust-Design-Anwendungen ausgeht, die dann basierend auf den erzielten Erfolgserlebnissen weiter voran getrieben werden können.

Zusätzlich sind eine nahtlose Integration in die schon bestehenden Prozesse sowie eine hohe Prozesssicherheit ein Garant für einen langfristigen Erfolg.

Auch Johannes Will von Dynardo betonte, dass die richtige Kommunikation im Bereich der Robustheit besonders wichtig sei. Zwar haben die Ingenieure schon immer mehrere Modellvarianten berechnet, aber der Sprung zur stochastischen Analyse fällt ihnen meist schwer. Dieser ist jedoch zwingend, um den Einfluss von Streuungen auf Struktursensitivitäten und die Systemzuverlässigkeiten ableiten zu können, was durch die Kopplung stochastischer Methoden mit numerischen Simulationstechniken für die Konstruktion und Auslegung von Bauteilen und Baugruppen möglich wird. Johannes Will berichtet davon, dass oft eine mehrjährige Überzeugungsarbeit in den CAE-Anwendungsunternehmen notwendig war, bevor das erste Robust-Design-Projekt starten konnte.

Mit Hilfe des Robust Design lässt sich das Wissen über die streuenden Eingangsgrößen verdichten, denn Sensitivitätsstudien und Robustheitsbewertungen verbessern das Verständnis über Parameter und deren Wirkungen. Jedoch ist eine sinnvolle Aufwandsplanung eine wichtige Grundlage für den effizienten Einsatz von Robustheitsbewertungen. Außerdem verwies Johannes Will darauf, dass mit der Verfügbarkeit von parametrischen Modellierungsumgebungen wie ANSYS Workbench die Robustheitsanalyse viel einfacher geworden ist, denn mit einem Klick in ANSYS Workbench lässt sich die gesamte Parametrik an optiSLang übertragen und die Robustheit eines Modells berechnen.

Für einige Anwendungen ist es notwendig, statistische Maße auf FE-Strukturen zu ermitteln und zu visualisieren. Hierfür hat Dynardo einen statistischen Postprozessor (SoS – Statistics on Structure) entwickelt, mit dem die Ergebnisse von Rechnungen einer stochastischen Simulation eingelesen werden können. Basierend auf diesen Daten werden statistische Maße wie Standardabweichungen und lineare Korrelationskoeffizienten ermittelt und von SoS direkt auf der FE-Struktur visualisiert.

Als Empfehlung an die Forumsteilnehmer formuliert Johannes Will: „Analysieren Sie so früh wie möglich die Robustheit und überprüfen Sie immer, ob das Wissen über die zu Grunde liegenden Streuungen gut genug ist.“ Ergänzend erklärt er, dass Robustheitsbewertungen auch ein Potenzial erschließen können, um die Anzahl von Versuchen zur Absicherung von Produkteigenschaften zu minimieren. Ferner sind mit Stochastik-Anwendungen viele Probleme schon frühzeitig erkennbar, die sonst erst beim Versuch mit dem realen Prototypen aufgefallen wären. Außerdem ist nicht nur das „schwächste Glied in der Kette“ identifizierbar, sondern sämtliche Schwachstellen können lokalisiert werden.

Dass die Umsetzung von neuen CAE-Konzepten oft sehr tiefgreifend und aufwändig ist, wusste auch Karl Gruber von Audi zu berichten. Wenn bei einer Simulation nicht alle wichtigen Bereiche und Disziplinen berücksichtigt werden und somit die Systemgrenze zu klein gewählt wird, kann es passieren, dass die Simulation ein stabiles und robustes Verhalten zeigt, obwohl das reale System instabil ist. Um die Systemgrenze und somit die Anzahl der erforderlichen Simulationsprogramme flexibel gestalten zu können, wird bei Audi im Umfeld Multi-Domain-Design der modulare Simulationsbaukasten eingeführt. Das Ziel ist, die Stabilität und Robustheit technischer Systeme in der frühen Entwicklungsphase verlässlich beurteilen zu können. Mit der Cosimulation und dem Simulationsbaukasten, dessen Einführung als längerfristiges Projekt gesehen wird, wollen Audi und Volkswagen konzernweit eine gemeinsame Plattform für die Simulation schaffen. Ein einheitlicher Konfigurator für die Durchführung der Simulation und eine gemeinsame Datenbasis für die Modelle, Parameter, Randbedingungen und Ergebnisse bilden eine weitere Grundlage des langfristigen Konzeptes.

Am Beispiel der Bordnetzstabilität und des Thermomanagement demonstrierte Karl Gruber die Fachbereichs- und Disziplin-übergreifende Simulation mit einem gemeinsamen Modell-Pool, bei dem sich alle Beteiligten an eine neue Form des „Gebens und Nehmens“ gewöhnen müssen. Dadurch können jedoch frühzeitig Wechselwirkungen erkannt und bewertet werden, wobei das Berechnungsmodell jeweils so klein wie möglich, aber doch so groß wie nötig sein sollte. Um die Bordnetzstabilität beurteilen zu können, müssen neben dem Fahrwerkssystem und den Reglern auch der Generator, die Batterie, das Bordnetz und das elektrische Verhalten der Aktuatoren, zum Beispiel ESP und elektrische Lenkung, ausreichend genau abgebildet werden. Die erforderliche Genauigkeit der Simulation ist davon abhängig, wie weit der Entwicklungsprozess fortgeschritten ist beziehungsweise welche konkrete Fragestellung mit der Simulation zu beantworten

ist. Während der Diskussion wies Karl Gruber darauf hin, dass sich stochastische Berechnungen in das Konzept problemlos integrieren lassen. In der frühen Phase oder auch zur Ableitung von echtzeitfähigen Modellen für den HIL-Prüfstand können auch Metamodelle von Batterien, Generatoren usw. bei der Entwicklung neuer Fahrzeuggenerationen benutzt werden.

Marc Hainke von Siemens erläuterte das Nutzenpotenzial, das sich beim Einsatz von ANSYS Workbench in der Medizintechnik erschließen lässt. Zwar ist die Optimierung bis zum letzten Gramm, wie etwa in der Massenfertigung der Automobilindustrie, bei ihm nicht auf der Tagesordnung, aber dafür vielfältige Multiphysics-Anwendungen bis hin zur Strahlendosisberechnung.

Als ein praktisches Beispiel nannte er die Bildgebung mittels Computertomographie (CT). Bei der CT-Röntgenröhre wird lediglich etwa 1 % der Energie in Röntgenstrahlen umgesetzt, der Rest muss als Wärme abgeleitet werden. Typische Leistungswerte liegen bei 20-100kW mit Hochspannungswerten von 80-140kV. Herzstück hier ist die Drehanode, die aufgrund der hohen Temperaturen und Umdrehungsgeschwindigkeiten höchsten thermo-mechanischen Wechselbelastungen unterliegt - die Optimierung des Designs ist eine der großen Herausforderungen.

Die Analysen bezüglich Grenzlastkurve und Optimierungsziele werden in ANSYS Workbench mehr oder weniger automatisch durchgeführt. Marc Hainke betonte ebenfalls, dass die Sensibilisierung der Entwickler bezüglich der Optimierung oft schwierig sei, aber immer wieder konkrete Anwendungsfälle realisiert werden können. Außerdem wären einige Neuentwicklungen erst durch den CAE-Einsatz möglich geworden.

Über ähnliche Erfahrungen berichtet auch Jochen Sarfert von Schaeffler, da die rund 40.000 Artikel des Wälzlager-Spezialisten auf die jeweilige Anwendung abgestimmt werden müssen. Die Lager sind sehr hohen Pressungen ausgesetzt und mit möglichst geringen Toleranzen zu fertigen. Hier muss für jedes einzelne Produkt ein technisches und ökonomisches Optimum gesucht werden. Mit Hilfe spezieller Optimierungsstrategien ließ sich beispielsweise bei der Lagerung in einem Hinterachsgetriebe die Reibung um etwa 50 % reduzieren. Speziell im Anwendungsbereich der Windenergie ist immer öfter eine Domain-übergreifende Zusammenarbeit bei der Simulation zu beobachten, in dem unter anderem die Fachleute aus der Mehrkörperdynamik (MKD) und der Strukturmechanik (FEA) mit den Strömungsspezialisten (CFD) sowie den Elektrotechnikern und Elektronikern kooperieren. Mit dem Ziel einer durchgängigen Systemmodellierung des Antriebsstranges hat Schaeffler deshalb eine enge Kooperation mit einem Anlagenbauer und einem Getriebehersteller gestartet.

Bei der Auslegung von Windkraftanlagen steht neben der Robustheit und Zuverlässigkeit auch die Wirtschaftlichkeit im Zentrum des Interesses. Dafür sind sehr umfangreiche Berechnungen notwendig, wobei die verwendeten CAE-Modelle auch auf den Prüfständen validiert werden sollten. Die Absicherung der Robustheit beginnt mit der Parametrisierung und erfordert es, die Gesamtsysteme beziehungsweise die komplette Prozesskette zu betrachten. Desweiteren ist eine intensive Zusammenarbeit auf einer gemeinsamen Vertrauensbasis notwendig. Zusätzlich müssen natürlich leistungsfähige Software-Werkzeuge und die entsprechenden Schnittstellen vorhanden sein. Was aber letztendlich zählt, sind die Mitarbeiter mit multidisziplinären Qualifikationen, die über den „Tellerrand“ ihres eigenen Fachgebietes hinausschauen können, damit eine erfolgsversprechende Projektdurchführung realisierbar ist. In diesem Zusammenhang wurde auch darauf hingewiesen, dass die bisher verfügbaren Software-Lösungen das Erfassen und Verwalten von vorhandenem Wissen für eine spätere Bereitstellung noch nicht ausreichend unterstützen.

In der abschließenden Diskussion über die Sensibilisierung der Mitarbeiter in der Produktentwicklung und der Entscheider im Unternehmen für den Einsatz der CAE-Technologien wurde festgestellt, dass neue Anwendungsfelder häufig erst erschlossen werden, wenn gravierende Probleme auftreten. Diese Fälle (des Fire-Fighting) eignen sich aber auch besonders gut für die Überzeugungsarbeit, da einleuchtend erklärt werden kann, wie „preisgünstig“ der CAE-Einsatz ist, wenn dem beispielsweise die Kosten für sehr späte Konstruktionsänderungen, Rückrufaktionen oder gar Schadensersatzansprüche gegenübergestellt werden. Von dem damit verbundenen Imageverlust – beziehungsweise der Image-Aufwertung durch den Einsatz von modernen und leistungsfähigen CAE-Systemen – soll hier gar nicht geredet werden.

Das nächste CAE-Forum findet am 4. November 2010 in Aachen statt und beschäftigt sich mit dem Thema: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Simulation.