

Virtueller Manikin hilft Klima auf die Sprünge

Heutige Produkte sollen sich immer stärker an Kundenwünsche orientieren, zum Beispiel im Bereich der Klimatisierung und des Wärmemanagements von Abgassystemen. Mit der neuen Software Theseus-FE für die thermische Simulation stellt P+Z Engineering Entwicklungsingenieuren ein leistungsfähiges Tool zur Verfügung, das verspricht, Entwicklungszeiten erheblich zu verkürzen.

Ob PKW, LKW, Zug, Schiff, Flugzeug oder in der Architektur: Qualität, Funktionalität und damit der Erfolg der gebotenen Lösung hängt empfindlich vom jeweiligen thermischen Verhalten ab. Insbesondere im Hinblick auf die Auslegung von Klimaanlage, das Insassenkomfort oder das thermische Management gehören computergestützte Analysen inzwischen zu den unerlässlichen Bestandteilen des Entwicklungsprozesses. Es wird auch immer wichtiger, bereits in der Konzeptphase funktionelle oder qualitative Mängel an Bauteilen, die einer ständigen thermischen Belastung ausgesetzt sind, zu erkennen und zu analysieren.

Daher hat die P+Z Engineering GmbH mit Hauptsitz in München einen thermischen Solver entwickelt, der Berechnungen zu genau diesen Themenfeldern ermöglicht und erheblich vereinfacht. Seit den frühen 90er Jahren befasst sich ein Team von Ingenieuren speziell mit diesen Problemstellungen. Auf Basis des so erworbenen Know-hows entstand in langjähriger Arbeit Theseus-FE, ein impliziter Finite Element Solver, der speziell auf die Belange der Klimatisierung (passive Aufheizung, aktive Abkühlphase, De-Icing, Defogging und weitere), des Insassenkomforts (Behaglichkeitsanalysen) sowie des thermischen Managements (Wärmequellenoptimierung) ausgelegt ist.

Typischerweise stehen in der Konzeptphase nur unvollständige Geometrie-Informationen zur Verfügung. Im neuen CAE-Programm lassen sich mit Hilfe von einfachen parametrischen Modellen die Konzepte auf ihre Performance hin überprüfen und optimieren. In der anschließenden Serienentwicklung, mit zunehmend genaueren Geometrieinformationen, liefert die Software durch die Kopp-



Geometrie mit rund 195 000 Elementen und Patch-Informationen

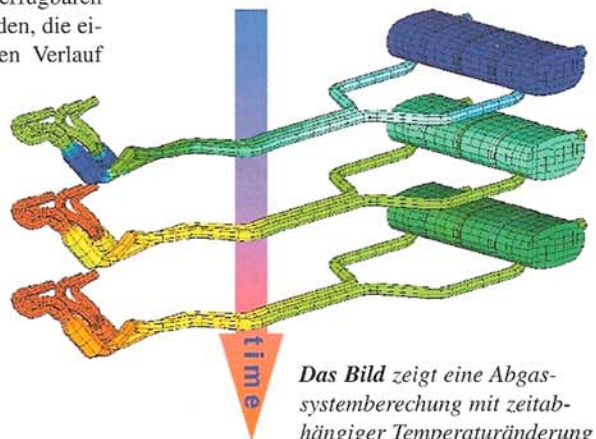
lung an CFD-Solver die in dieser Phase geforderte Ergebnisqualität. So wird die Bewertung von Produktzielen entlang des gesamten Entwicklungsprozesses unterstützt. Die hervorragende Performance des impliziten Solvers für stationäre und instationäre Berechnungen wird durch die Verwendung moderner iterativer Methoden gewährleistet.

Die Software zeichnet sich durch ihre leicht zu erlernende, übersichtlich strukturierte grafische Benutzeroberfläche (GUI) aus. Tabellarische Eingabemasken machen die Bedienung transparent, so dass Experten wie auch Anfängern ein Minimum an Benutzerangaben abverlangt wird, um thermische Systeme zu konfigurieren und zu bewerten.

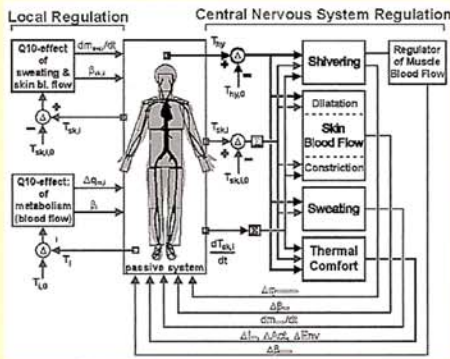
Grundsätzlich gliedert sich heute die Durchführung einer CAE-Analyse in das Pre-Processing, in dem alle verfügbaren Daten vor- und aufbereitet werden, die eigentliche Berechnung, in deren Verlauf die numerischen Ansätze gelöst werden, und das Post-Processing, das verschiedene Möglichkeiten der Datenauswertung beinhaltet. Die meisten am Markt erhältlichen Berechnungstools integrieren alle drei Bereiche, um einen möglichst durchgängigen Berechnungsablauf garantieren zu können, so auch Theseus-FE. Im Pre-Prozessor kann der Anwender vernetzte

Oberflächengeometrien direkt einlesen und mit wenigen Eingaben Parameter wie Materialeigenschaften, Oberflächenbeschaffenheiten oder andere Umgebungsvariablen anpassen. Der implementierte Solver ermittelt die Energiebilanz basierend auf der Berechnung von Wärmestrahlung (einschließlich Sonneneinstrahlung), interne 3D-Wärmeleitung und schließlich Konvektionsgrößen. Die Grundgesetze der Wärmeübertragung werden in Form von Bilanzen und Gleichgewichtsaussagen zur Berechnung und Auslegung der Wärmeverhältnisse angewandt.

Das allgemeine Problem bei der Strahlungsaustauschberechnung besteht in der Wechselwirkung der einzelnen Oberflächen, da jeder Körper mit $T \neq 0$ Strahlung emittiert und reflektiert, also im ständigen Wechsel der Energieeinträge durch



Das Bild zeigt eine Abgassystemberechnung mit zeitabhängiger Temperaturänderung



Die Anzahl der eingesetzten virtuellen Manikin in das zu untersuchende Objekt (zum Beispiel vier im PKW-, 60 im Flugzeug-Prototypen) ist in Theseus-FE nur durch die Gesamtelementanzahl begrenzt. Durch spezielle thermische Brücken wird der Kontakt des virtuellen Manikin zu den Sitzen geschlossen, so dass der Wärmetransport zwischen Insasse und Innenraum vollständig berücksichtigt werden kann.

Strahlung steht. Ein besonderes Merkmal des Programms ist die sehr effiziente Berechnung dieses Strahlungsaustauschs durch Berücksichtigung von Schwarzkörper- (vollständig absorbtiv, „black body“) und Grau-Körper-Strahlungen (teil-absorbtiv, „grey body“). Zur Berechnung des Strahlungsaustauschs gehören im ersten Schritt die Berechnung der sogenannten Ansichtsfaktoren („view factors“) und in einem zweiten Schritt die Lösung der Grey-Body-Gleichungen. Bei der Berechnung der Ansichtsfaktoren können alternativ numerische, analytische und halb-analytische Verfahren mit variabler Genauigkeit und Rechengeschwindigkeit eingesetzt werden. Dies wurde mit Hilfe einer eigens entwickelten sogenannten „Surface-to-Surface“-Technologie umgesetzt, die bereits als parallelisierte Version zur Verfügung steht. Nach der Berechnung (stationär oder instationär) erfolgt die grafische Darstellung der Ergebnisse im eigenen Post-Prozessor. Dieser bietet eine Vielzahl von Auswertemöglichkeiten wie Temperatur oder Wärmestrahlung über die Zeit.

Modelle mit bis zu 250 000 Elementen können mühelos mit dem Code auf herkömmlichen Desktop-PCs gerechnet werden. Für größere Modelle, hauptsächlich in Kombination mit gekoppelten CFD-Berechnungen, kann mittels eines neuen Patching-Algorithmus – eine jeweils genau definierte Anzahl von Elementen wird dabei einem Patch zugeordnet – eine virtuelle Verkleinerung der Elementanzahl bewirkt werden, was zu verbesserten Berechnungszeiten führt. Ein weiteres Verfahren zur Minimierung von Rechenzeit und Speicher ist die Unterteilung des Sys-

tems in „Kavitäten“ (cavities), deren Strahlungsaustausch entkoppelt ist: mehrere kleine Kavitäten brauchen deutlich weniger Speicher und Rechenzeit als eine große! Daher liefert das Programm wesentlich schneller brauchbare Ergebnisse als vergleichbare Solver.

Die angewendete Methode ist elementbasiert, das heißt, dass die problembeschreibenden 3D-Geometrien in Form eines Gitternetzes mit Hilfe von Oberflächen diskreditiert werden. Bevorzugt werden Geometrien mit Dreiecken (Triangles) oder Quadrate (Quads). Volumenelemente werden derzeit nicht unterstützt.

Mensch und Umwelt. Ein weiteres herausragendes Merkmal ist ein neu implementierter thermischer virtueller Manikin. Der menschliche Körper als solches verursacht durch unterschiedliche Tätigkeiten eine Vielzahl von sich kontinuierlich ändernden Randbedingungen. Zum Beispiel schwitzen wir, wenn uns zu heiß ist, oder wir frieren, wenn uns kalt ist. Andererseits werden durch unsere Atmung ständig die Feuchtigkeitsverhältnisse in unserer direkten Umgebung beeinflusst. Hinzu kommt, dass ein erwachsener Mensch in der Regel eine eigene „Wärmequelle“ darstellt, die, je nach Tätigkeit und Bekleidung, zwischen 60 Watt (entspannt sitzend) und 500 Watt (Holzhackend) Leistung produziert und wieder an die Umgebung abgibt – etwa in Form von Wärmestrahlung. Basierend auf dem DTS-Modell (Dynamic Thermal Sensation) von Fiala (1) und unter Berücksichtigung des vollständigen metabolischen Wärmehaushalts einschließlich der Blutzirkulation, Schwitzen, Zittern, Luftfeuchte durch Atmung, eigene Wärmeleistung sowie weiterer Parameter wird somit erstmals auch lokale Komfortbewertung von Insassen möglich.

Im Bereich „Underhood Thermal Management“ (UTM) sind Berechnungen von Abgassystemen und Hitzeschild-Design vorrangige Anwendungsgebiete des CAE-Tools. In Kombination mit CFD-Berechnungen lassen sich so Strahlungsaustausch, Wärmeübergänge und Konvektionsgrößen wie Innen- und Außenströmung ganzheitlich auswerten. Auch zur Bauteiloptimierung, beispielsweise bei der Auswahl temperaturbeständiger Materialien für Hitzeschilder, Instrumententafeln oder Innenraumverkleidungen, findet Theseus-FE Anwendung.

Zur Berechnung selbst importiert der Anwender einfach eine Nastran-Datei. Theseus-FE enthält eine Datenbank mit den wichtigsten Materialien aus der Automobilbranche, die beliebig erweitert werden kann. Bevor die Berechnung gestartet wird, unterzieht das Programm das Modell einer Eingangsprüfung. Wurden falsche oder nicht passende Parameter ge-

setzt, erfolgt eine Warnung. Erst wenn alle Fehler im System beseitigt wurden, startet die Berechnung. Die für die thermische Analyse notwendigen Strahlungsaustauschinformationen können bereits unmittelbar nach Einlesen der Geometrie gestartet werden, sofern keine Kavitäten verwendet werden. Parallel hierzu kann der Anwender sein Modell im Pre-Prozessor aufbereiten. Daher sind diese Informationen wesentlich früher verfügbar.

Nach dem Start des Solvers wird das Gesamtsystem in das energetische Gleichgewicht überführt. Für eine stationäre Berechnung geht dies zügig. Bei einer vollständigen, zeitabhängigen Klimatisierungsberechnung indes muss für jeden Zeitschritt das thermische Gleichgewicht neu berechnet werden, was zwangsweise zu längeren Berechnungszeiten führt. Die Berechnung ist beendet, wenn entweder die voreingestellten Iterationsschritte erreicht wurden oder sich das System vollständig im thermischen Gleichgewicht befindet.

Für Ansicht und Auswertung der Ergebnisse stehen dem Anwender verschiedene Möglichkeiten im integrierten Post-Prozessor zur Verfügung. Hier können die Ergebnisse statistisch ausgewertet werden. Mit Hilfe von Farbskalen ist man in der Lage, die jeweils gewünschten Variablen graphisch darzustellen. Natürlich hat der Anwender auch die Wahl, die Resultate als 3D-Screenshot oder als 2D-Plot darzustellen, auszudrucken oder zu exportieren. So lässt sich das Analytische extern weiter verarbeiten, beispielsweise mit anderen kommerziellen Post-Prozessoren. Neben dem neu implementierten DTS-Modell zur lokalen Komfortbestimmung können im Post-Prozessor auch die bewährten Standardkomfortindizes wie PMV, PPD und HSU ausgewertet werden.

Fazit. Seit Jahren ist ein deutlicher Trend in Richtung numerische Simulation zu beobachten. Gerade in Hinblick auf Klimatisierung und Insassen-Komfort steigt die Bedeutung der numerischen Simulation kontinuierlich. Daher entwickeln die Experten von P+Z Engineering ständig Verbesserungen, um beispielsweise die Kompatibilität zu gängigen Software-Tools aus dem FE- und CFD-Bereich auszubauen.

RALPH HABIG

INFCORNER

(1) Fiala, D., „Dynamic simulation of human heat transfer and thermal comfort“, Ph.D. thesis, DeMontfort University, Leicester (UK), 1998
 Weitere Informationen zu Theseus-FE per E-Mail: r.habig@puz.de