

te Optimierungsschleife startet in der Konzeptphase, um die Konzeptspezifikationen zu überprüfen. Die meiste Arbeit wird dann während der Design-Phase durchgeführt. CFD wird dabei auch für die Optimierung des Lüftungskanals in Hinsicht auf Druckverlust und für die Optimierung der Wärme/Kühleinheit in Hinsicht auf Druckverlust, Massendurchflussrate und Temperaturverteilung des Luftauslasses angewendet.

Das Netzgitter für die CFD-Analyse besteht je nach Fahrzeuggröße aus 1,5 bis 3,5 Millionen Elementen. Die Netzstruktur muss so beschaffen sein, dass es dem Anwender leichtfällt, die Position der Auslassöffnungen zu verändern. Für die ersten Untersuchungen in der Konzeptphase werden die Lüftungsschlitze für die Ventilatoren als Einlass-Randbedingungen modelliert. Später dann, nach umfangreicheren Geometrieänderungen, werden die Netze für die Luftdüse und für die Ventilatoren-Lüftungsschlitze dem Gitter, das den Fahrgastinnenraum beschreibt, hinzugefügt.

Alle Netze für Tekos werden mit Hilfe von Icem-Hexa erzeugt. Die CFD-Analyse, die Teil des Tekos-basierenden Prozesses ist, wird mit 8 CPUs pro Rechenjob durchgeführt. Der CFD-Teil ist in zehnmal 100 Iterationen aufgeteilt. Für jede der 100 Iterationen wird bei einer Netzgröße von 2,5 Millionen Elementen rund eine Stunde Rechenzeit benötigt.

Die Netzgenerierung für die Analyse der Defrostung der Fensterscheiben und des Befreiens von Kondenswasser erfolgt über Tekos-CFD. Dabei werden Element-

schichten für die Verglasung hinzugefügt.

Hierbei kommen folgende Standard-Lastfälle zum Einsatz:

- Wintersituation: statisch und transient (Aufheizung),
- Sommersituation: statisch und transient (Abkühlung),
- Windschutzscheiben-Entfrosterung,
- Kondenswasser-Entfernung an der Windschutzscheibe.

Für die Lastfälle 1 und 2 (nur für den zeitunabhängigen Anwendungsfall) wer-

mittelt. Auf der Lufteinlassseite des Kühlers wird die berechnete Luftmassenstromrate aus der Umströmungsanalyse für den Unterboden verwendet.

Die Ergebnisse für die Verteilung der Wärmetransferkoeffizienten der 3D-Fahrgastinnenraum-Analyse werden innerhalb des Tekos-Prozess als Input für die Programme SWF und TIM verwendet. Der Tekos-Prozess liefert das sogenannte thermische Komfort-Diagramm für jeden Insassen.

Fazit. In den meisten Fällen (bis auf Aerodynamikstudien der Fahrzeugaußenhaut) ist CFD in Prozesse mit anderen Simulationstools eingebettet. Denn CFD alleine erfüllt noch nicht alle MDS-Anforderungen für die Vollfahrzeugfunktionen. Aber die Kombination mit anderen Simulationstools liefert die gesamte Bandbreite an benötigten Informationen. Deshalb müssen alle Teile einer CAE-Prozesskette die richtigen Ergebnisse liefern. Um auf der sicheren Seite zu sein, ist eine Vielzahl an Tests und Vergleiche durchzuführen, um die beste Kombination an Tools für eine spezielle Optimierungsschleife herauszufinden. □

Anzeige

den bei gegebener Position der Belüftungsschlitze die einfließende Massenstromrate, die Auslassrichtungen und die Lufttemperatur so lange variiert, bis der optimale thermische Komfort für alle Fahrgastinsassen erreicht ist. Im Falle der transienten Rechnung wird nur die Einlasstemperatur in Abhängigkeit von der Zeit variiert, während die anderen Randbedingungen unverändert bleiben. Die transiente Lufttemperatur wird dabei mit Hilfe von 1D-Simulationstools er-

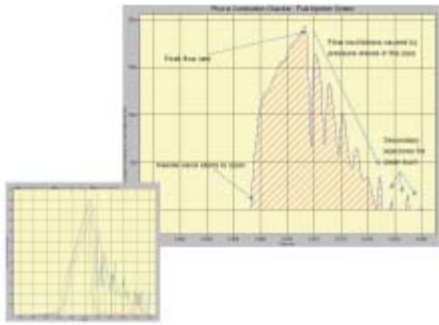
INFCORNER

Der Beitrag ist die gekürzte deutsche Fassung eines White Papers von Walter Bauer, Daimler AG, aus dem Jahr 2006. Übertragung ins Deutsche: Bernhard D. Valnion.

Fluid-System-Simulation für die Automobilindustrie

3D-CFD-Systeme eignen sich bestens für strömungstechnische und thermische Analysen von Komponenten oder Baugruppen. Für die Untersuchung komplexerer Leitungssysteme jedoch, wie man sie etwa in der Automobiltechnik bei Kühlmittelkreisläufen, der Kraft- und Schmierstoffversorgung oder der Klimatisierung vorfindet, sind alternative 1D-Ansätze oftmals die bessere Lösung. Auf Basis der jüngst vorgestellten Version Flowmaster V7 hat man erstmals auch industriespezifische Lösungen vorgestellt, die für die Bereiche Automobil- und Flugzeugindustrie signifikante Vorteile bieten.

In der Automobiltechnik sind Fluid-Systeme beispielsweise beim Kühlkreislauf, der Schmiermittel- und Kraftstoffversorgung oder bei Klimaanlage anzutreffen. Die Abstimmung der einzelnen Komponenten, die zahlreichen Einflussfaktoren sowie das vielfach instationäre Verhalten gestalten die Auslegung ausgesprochen schwierig, zumal nicht nur die technischen Anforderungen (Leistungsaufnahme, Wirkungsgrad, Packaging und anderes mehr) immer komplexer



In beiden Diagrammen ist die Befüllung der Brennkammer über die Zeit dargestellt. Zu erkennen ist das Maximum der Flussrate ebenso wie die anschließenden Oszillationen infolge von Druckwellen im Zuleitungssystem und Effekte der Sekundäreinspritzung (ganz rechts).

Orientierung erleichtert. Die Benutzeroberfläche erzeugt durch Orientierung am Windows-Standard schnell Vertrautheit und erlaubt über weite Bereiche ein intuitives Arbeiten. Sie kann individuell an unternehmens- oder anwenderspezifische Besonderheiten angepasst werden und ist gegliedert in drei Bereiche:

- **Project Views** – Darstellung und Verwaltung von Projekten sowie der dazugehörigen Netze, Kataloge und Benutzer in einer Baumstruktur. Kataloge sind vorhanden für analytische Modelle, Komponenten, Materialien, Leistungs- und Kenndaten, Skripts und Symbole.
- **Network Drawing Window** – interaktive grafische Bearbeitung des Simulationsmodells. Mittels Drag & Drop sowie Copy & Paste können Komponenten ausgewählt, positioniert und verbunden werden. Grafiken lassen sich hinterlegen, um die Anschaulichkeit und das Verständnis für Außenstehende zu erhöhen beziehungsweise für den Benutzer die Modellierung zu vereinfachen.
- **Network Views** – Anzeige aller das aktuelle Netzwerk betreffenden Informationen, von der Liste der enthaltenen Komponenten und Knoten bis hin zu den Simulations- und Ergebnisdaten.

Basierend auf den branchenspezifischen Erfahrungen, die auf enger Zusammenarbeit mit den Kunden beruhen, hat der Systemanbieter vertikale Applikationen für den Automobil- und Flugzeugbau entwickelt. Dabei kann gewählt werden zwischen Paketen für Vehicle Thermal Management (wasser- und luftseitige Kühlsysteme,

Schmiermittelversorgung und Klimaanlage), Kraftstoffversorgung und Einspritzsysteme sowie Abgassysteme. Jedes dieser Pakete verfügt neben den Standardkomponenten über thematisch erweiterte Bibliotheken mit den jeweils benötigten Komponenten und sogenannte Building Blocks. Für das Anwendungsfeld Kühlsysteme sind dies Wärmetauscher, Pumpen, Ventilatoren, Thermostate und Kühlmittel sowie Motorkomponenten einschließlich thermischer Trägheiten, Wärmeleitung, Konvektion und -strahlung.

Für das Gesamtsystem werden jeweils die Drücke, Temperaturen, Volumen- und Massenströme ermittelt. Einmal erstellt, können mit dem Berechnungsmodell stationäre oder instationäre Zustände analysiert und einfach Modifikationen umgesetzt werden, um beispielsweise Komponenten unterschiedlicher Zulieferer zu vergleichen oder Variantenberechnungen durchzuführen. Es können Kontrollstrategien entwickelt werden, um eine für alle Betriebszustände stabile Systemauslegung zu erreichen.

Ebenfalls ist es problemlos möglich, unterschiedliche Berechnungsmodelle miteinander zu koppeln, um etwa den Einfluss der Motorkühlung auf die Schmiermittelversorgung zu untersuchen. Durch die Co-Simulation mit 3D-CFD-Programmen lassen sich Wechselwirkungen mit externen Systemen untersuchen, etwa Motorraumdurchströmung oder Einfluss von Stylingvarianten auf Strömungs- und Temperaturverhältnisse.

Einfluss von Komponenten unterschiedlicher Zulieferer auf das Gesamtkühlsystem, Effekte unterschiedlicher Betriebsbedingungen wie Aufwärmphase im Winterbetrieb, Ermittlung der Thermostatparameter zur Sicherung einer konstanten Kühlmitteltemperatur.

- **Kühlsysteme, luftseitig.** Untersuchung der gegenseitigen Beeinflussung der Wärmetauscher, Verifizierung des Layouts der Kühlung, Berücksichtigung ungleichförmiger Luftströmungen.
- **Schmiermittelversorgung.** Ströme und Drücke für die Hauptverbraucher bei unterschiedlichen Drehzahlen und Temperaturen, Simulation von „Warm-up“ und „Cool-down“, Verhalten unter normalen und extremen Bedingungen, transiente Analyse der Druckverhältnisse in Ölbohrungen, Untersuchung von Druckwellen durch die Ölpumpe, Einfluss des Schmiermediums auf Wärmemanagement des Antriebsstrangs.
- **Klimaanlage.** Fahrgastraum-Analyse in Hinsicht auf Komfort sowie Warm-up und Cool-down; Auswirkungen auf Motorbelastung, Emissionen und Leistung; Einfluss auf Kühlsysteme, Aufwärmzeiten und Thermostatregelung; Optimierung des Leistungsbedarfs.
- **Kraftstoffversorgung** und Einspritzung. Dimensionierung der Zuführungs- und Entlüftungsleitungen, Optimierung der System-Performance, Auslegung der Einspritzpumpe, Vermeidung unerwünschter Druckschübe.
- **Abgassysteme.** Umsetzung der Vorgaben bezüglich Packaging, Performance, Kosten und Akustik; Validierung und Optimierung neuester Entwicklungen zur Schadstoffreduzierung (Biotreibstoff, Zylinderabschaltung, Hybridantrieb und Energierückgewinnung).

Fazit. Die neue Systemarchitektur von Flowmaster V7 bietet die besten Voraussetzungen für eine enge Integration in bestehende Entwicklungsszenarien. Enthält bereits die Basisversion alle Funktionalitäten für eine genaue und verlässliche Simulation komplexer Leitungssysteme, so wird die Effizienz durch die branchenspezifischen Lösungspakete nochmals gesteigert. Nicht nur Berechnungsingenieure, sondern auch die Anwender am Arbeitsplatz finden hier ein Werkzeug, um arbeitsintensive Aufgabenstellungen bequem zu bearbeiten.

Anzeige

Mögliche Anwendungen der unterschiedlichen Flowmaster-Softwarepakete für die Automobilindustrie sind:

- **Kühlsysteme, wasserseitig.** Wärmeabführung in Abhängigkeit von Drehzahl und Belastung, Wärmeströme zwischen Motorgehäuse mit Kühlmittel und der Durchströmung des Motorraums, Umsetzung der Anforderungen aus Packaging und Einbausituation,

genaue und verlässliche Simulation komplexer Leitungssysteme, so wird die Effizienz durch die branchenspezifischen Lösungspakete nochmals gesteigert. Nicht nur Berechnungsingenieure, sondern auch die Anwender am Arbeitsplatz finden hier ein Werkzeug, um arbeitsintensive Aufgabenstellungen bequem zu bearbeiten.

ULRICH FELDHAUS