



CAE-WISSENSMANAGEMENT IN DER KÜHLSYSTEMSIMULATION

Um Kühl- und Schmierstoffkreisläufe für Verbrennungsmotoren sicher auszulegen, wird auch die CFD-Simulation eingesetzt. Die österreichische AVL nutzt für Motorenentwicklung und Thermomanagement das 1D-CFD-Simulationsprogramm Flowmaster V7. Diese Software ist eingebunden in ein CAE-Konzept, das auf iCAE basiert, einem Portal für Berechnungsingenieure. Das Portal wird für das Daten- und Wissensmanagement sowie eine CAE-gestützte Bauteilfreigabe verwendet.

AUTOREN



DIPL.-ING. FRANZ ZIEHER
ist Leiter Simulation und
Mechanikentwicklung bei der AVL
List GmbH in Graz (Österreich).



DIPL.-ING. ANDREAS ENNEMOSER
ist Leiter CFD-Berechnung bei der
AVL List GmbH in Graz (Österreich).



DR. HEINZ PETUTSCHNIG
ist Leitender Ingenieur für Thermo-
management bei der AVL List GmbH
in Graz (Österreich).

HOHER STELLENWERT DER SIMULATION

Von der Konzeptphase bis hin zur Fertigungsplanung werden heute Simulationswerkzeuge konstruktionsbegleitend eingesetzt und helfen dabei, Entwicklungszeiten zu verkürzen und die Anzahl zeit- und kostenintensiver Prototypen und Versuche signifikant zu reduzieren. Dies gilt besonders für den Bereich der strömungstechnischen und thermischen Simulation, der in den vergangenen Jahren einen beispiellosen Aufschwung erfahren hat. 3D-CFD-Programme zur detaillierten Strömungsberechnung oder aber 1D-Programme zur Simulation komplexer Gesamtsysteme sind für die Produktentwicklung und -optimierung vielfach unerlässlich.

Mit zunehmender Integration der Simulation in die Entwicklungsprozesse wird jedoch deutlich, dass die reine Programmfunktionalität nicht allein entscheidend ist für eine effiziente CAE-Nutzung. Vielmehr muss der Simulationseinsatz auch unter den Gesichtspunkten Zeit- und Kosteneffizienz optimal strukturiert und organisiert werden. Die Standardisierung in der CAE-Aufgabendefinition und -durchführung ist deshalb ein Thema, dem Unternehmen eine immer größere Bedeutung beimessen.

Diese Notwendigkeit hat man bei der in Graz ansässigen AVL frühzeitig erkannt. Mit iCAE haben die Österreicher ein Portal für Berechnungsingenieure mit integriertem Daten- und Wissensmanagement sowie einer CAE-gestützten Bauteilfreigabe entwickelt, welches die Bearbeitung von Berechnungsaufgaben deutlich vereinfacht und beschleunigt. Fünf Jahre nach dem Start des Projekts ist das System inzwischen vollständig in den Entwicklungsprozess integriert und hat längst seine vorab erwarteten Qualitäten auch in der Praxis unter Beweis gestellt. Quasi als Geheimwaffe hatte AVL das Portal iCAE entwickelt, weil die am Markt verfügbaren SDM- und PDM-Lösungen nicht den Anforderungen entsprachen.

Die Liste der in das iCAE-Konzept integrierten Berechnungsprogramme ist umfangreich und umfasst die AVL-Software-Eigenentwicklungen Boost, Cruise, Excite und Fire sowie Fremdprogramme wie zum Beispiel Abaqus, Nastran, Fluent oder Matlab/Simulink. Für den Bereich der Systemanalyse, bei dem es um die strömungstechnische und thermische

Simulation komplexer Gesamtsysteme (Schmierstoff- und Kühlkreisläufe) geht, setzt man das Programm Flowmaster des gleichnamigen Anbieters ein.

KOMPLEXITÄT DURCH EINFACHHEIT BEHERRSCHEN

Das CFD-Programm Flowmaster V7 [1] basiert auf einem eindimensionalen numerisch-empirischen Ansatz zur Simulation der thermo- und fluiddynamischen Vorgänge. Es ist in der Lage, stationäre und transiente strömungstechnische und thermische Berechnungen sowohl mit inkompressiblen als auch kompressiblen Medien durchzuführen. Die Berechnungen liefern für das gesamte System Druck- und Temperaturverteilung, Strömungsgeschwindigkeit sowie weitere Prozessparameter.

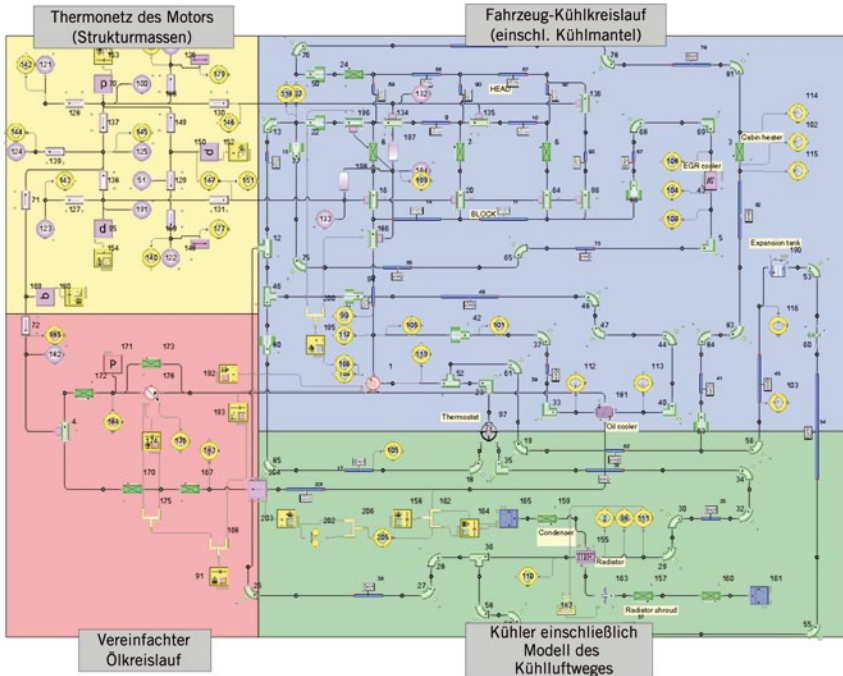
Der Aufbau der in Flowmaster V7 verwendeten schematischen Modelle ist wesentlich einfacher als die Generierung der auf CAD-Daten basierenden komplexen 3D-CFD-Modelle. Die in erweiterbaren Bibliotheken abgelegten Standardkomponenten (zum Beispiel Rohre, Ventile, Pumpen etc.) werden mittels Drag & Drop platziert, wobei die Eigenschaften der Komponenten an die aufgabenspezifischen Gegebenheiten angepasst werden können. Durch entsprechende Definition der Prozessparameter lassen sich nahezu alle in der Praxis vorkommenden Betriebsbedingungen darstellen.

BEISPIEL: AUSLEGUNG VON WASSERPUMPEN

Seit mehr als sieben Jahren arbeitet AVL bereits mit dem Tool Flowmaster und hat dabei umfangreiches Know-how aufgebaut. In unterschiedlichen Phasen des Entwicklungsprozesses wird das Programm, von ersten Konzeptstudien bis hin zu Optimierungsaufgaben, für zahlreiche Aufgabenstellungen eingesetzt, unter anderem:

- : Auslegung von Kühlmittel- oder Wasserpumpen
- : Simulation des kompletten Kühlsystems
- : Auslegung des Ölkreislaufs
- : Simulation des Thermomanagements des Gesamtfahrzeugs (inklusive Hybrid- und Elektrofahrzeuge).

Am Beispiel der Wasserpumpenauslegung und der anschließenden Simulation und Optimierung des Kühlkreislaufs ist im Fol-



1 Simulationsmodell des Thermomanagements für das Gesamtfahrzeug, erstellt mit Flowmaster V7

genden ersichtlich, wie mit dem Werkzeug Flowmaster V7 schnell unterschiedliche Konfigurationen (zum Beispiel serielle/parallele Schaltung des Kühlers) simuliert und miteinander verglichen werden können. Dazu werden in einem ersten Schritt anhand eines einfachen Flowmaster-V7-Modells – auf Basis des geplanten Motortyps, der projektspezifischen Motor-Kenndaten sowie von Erfahrungswerten aus iCAE – realistische Eingabewerte für das Excel-basierende Auslegungsprogramm ermittelt. Im Lauf der Detailkonstruktion wird das einfache Modell durch zusätzliche Geometrieinformationen, Verschlauchung etc. verfeinert, 1. Nun können anschließend Berechnungen mit Daten unterschiedlicher Komponenten-Zulieferer und unter unterschiedlichen Randbedingungen (Umgebungstemperatur, Motorlast etc.) durchgeführt und das System der jeweiligen Zielgröße entsprechend optimiert werden.

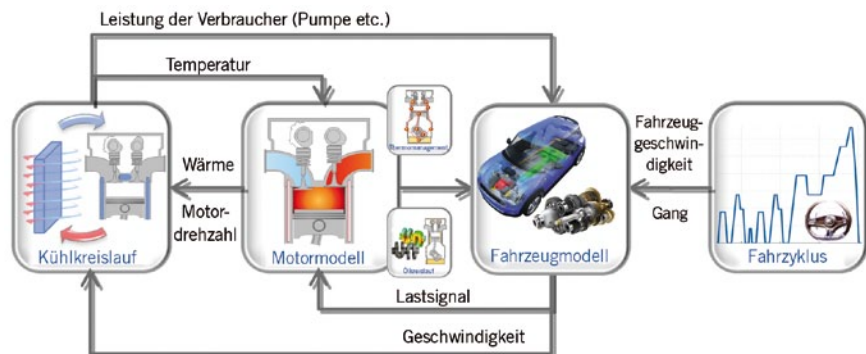
VERSUCHE NACH WIE VOR NOTWENDIG

Versuche, beispielsweise zur Dichtigkeitsüberprüfung etc., sind keineswegs überflüssig geworden, auch wenn sie in der Konzeptfindungsphase durch die Simulation ersetzt werden. So kommen einige

Widerstände erst im Einbauzustand zum Tragen, Kenndaten von Komponenten entsprechen nicht dem tatsächlichen Verhalten; oder es wurden nach der Simulation noch Änderungen durchgeführt. Erst wenn durch den Abgleich das Simulationsmodell die Versuchsergebnisse mit akzeptabler Genauigkeit reproduziert, können auf der Simulationsseite weitere Optimierungszyklen durchlaufen werden.

HOHE INTEGRATIONSFÄHIGKEIT

Wie gut sich das CFD-Simulationsprogramm in eine heterogene Simulationsumgebung integrieren lässt, zeigt sich am



2 Unter Berücksichtigung der definierten Charakteristika werden mit AVL Cruise, AVL Boost und Flowmaster V7 die komplexen Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen realistisch simuliert

Beispiel der Vorhersage von Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen. Für diese Aufgabenstellung ist das Programm AVL Cruise der „Master“ und steuert über die Vorgabe von Randbedingungen und Fahrzyklen das gekoppelte Programm Flowmaster V7, mit dem die thermische Simulation aller Subsysteme durchgeführt wird, 2. Diese Vorgehensweise erlaubt es, die Auswirkungen diverser Optimierungsmaßnahmen auf das Gesamtsystem sehr effizient beurteilen zu können.

Die komplexe Interaktion verschiedener Systeme kann in der Simulation nach vorherigem Abgleich eines Basismodells mit Versuchsdaten umfassend bewertet werden. Betriebsstrategien für Komponenten des Kühl- und Schmierkreislaufs wie zum Beispiel geregelte Thermostate können hinsichtlich ihrer Wirkung auf Kraftstoffverbrauch und Emissionen entworfen werden, 3.

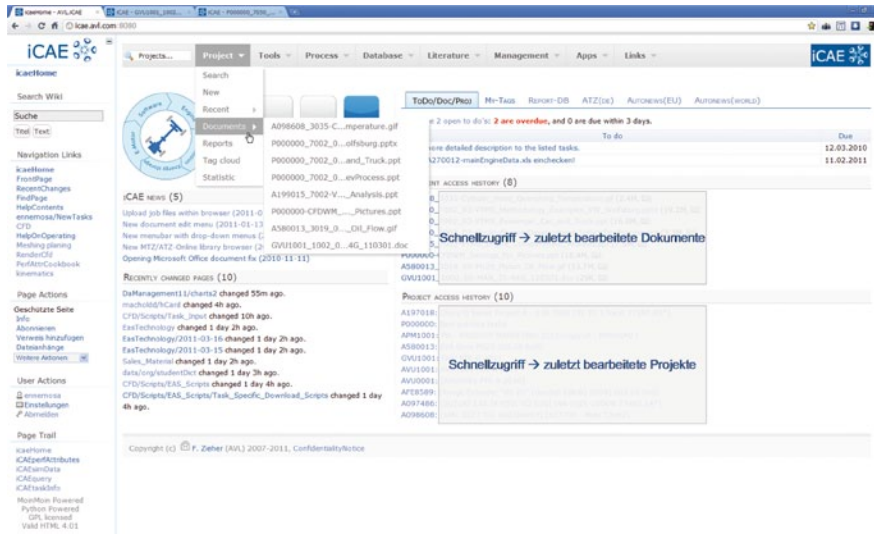
EFFIZIENZ ERFORDERT ORGANISATION

Untersuchungen haben gezeigt, dass Berechnungsingenieure mehr als 50 % ihrer Arbeitszeit im Entwicklungsprojekt in die Beschaffung von Daten und Informationen investieren. Zieht man in Betracht, dass bei der AVL weltweit zirka 200 Berechnungsingenieure beschäftigt sind, summieren sich die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zu immensen Zeitkontingenten.

AVL hat mit dem Portal iCAE und der damit verbundenen Standardisierung von Prozessen, Arbeitsabläufen und des Datenhandlings sowie der strikten Einhaltung von Verfahrensschritten erreichen können, dass nicht wertschöpfende Tätigkeiten um zirka 50 % reduziert werden. Es hat sich

der Projektdefinition, der Report-Freigabe, dem Management der Leistungsattribute, dem Zeit- und Qualitätsmanagement sowie der Bauteilfreigabe unterstützt, 4. Darüber hinaus profitieren auch die Kunden in mehrfacher Hinsicht von dem Portal, zum Beispiel durch die schnelle Visualisierung des Projektstatus oder durch die Bewertung/Einordnung der für sie erarbeiteten Lösung im Vergleich mit ähnlichen Projekten.

Derzeit sind zirka 230 Berechnungsaufgaben im Bereich Motorenentwicklung der AVL katalogisiert, und ständig kommen neue hinzu. Tätigkeiten, die noch nicht erfasst wurden, dürfen erst begonnen werden, wenn sie auch katalogisiert wurden. Ein Vorgang, der in der Regel zwei bis drei Tage dauert, und an den auch Bedingungen geknüpft sind, wie etwa klar erkennbare Vorteile für das Engineering etc.



4 Das Wissensmanagement-Portal ICAE bietet eine schnelle Übersicht über den aktuellen Projektstatus und einen raschen Zugriff auf die zugehörigen Daten und Dokumente

Performance attributes for

Select Task: 3006-Water jacket flow optimization, HTC calculation

Name (Toggle NA) Filter:	TaskId	Min	Value	Max	Condition
Water pump coolant flow rate (l/min)	7001		144.7		at rated engine speed
Water jacket degassing capability (y=1/n=0)	3006	0.5 <	1.0		
Engine (water jacket) coolant pressure drop at reference flow rate (mbar)	3006		227.0	< 500.0	
Thermostat coolant pressure drop at reference flow rate (mbar)	7001	150.0 <	134.0	< 320.0	only thermostat itself without housing
Pressure safety margin against cavitation (mbar)	3006	200.0 <	987.0		
Maximum coolant flow velocity (m/s)	3006		10.0	< 10.0	
Flow velocity in critical areas (m/s)	3006	1.5 <	3.0		
Flow velocity at boiling areas (m/s)	3006	0.5 <	0.55		
Mean heat transfer coefficient at liner top (W/m²K)	3006	6000.0 <	8400.0		
Mean heat transfer coefficient at exh-exh valve bridge (W/m²K)	3006	15000.0 <	15000.0		P_specific: 85 kW/l
Flow uniformity of critical areas among cylinders (%)	3006	-15.0 <	4.0	< 15.0	
Flow split ratio cylinder head to block (%)	3006	80.0 <	89.0	< 100.0	flow tapping for auxiliaries
Oil module coolant side pressure drop at reference flow rate (mbar)	7001		318.0	< 430.0	part flow
Water jacket robustness against film boiling (°C)	4009	20.0 <	29.0		
Radiator coolant flow rate (l/min)	7001	100.0 <	111.0		
Engine (water jacket) coolant flow rate (l/min)	7001	110.0 <	120.1		
Expansion tank coolant outlet flow rate (l/min)	7001	2.0 <	2.4	< 5.0	
Oil module coolant flow rate (l/min)	7001	20.0 <	24.7		
Cabin heater coolant flow rate (l/min)	7001	20.0 <	33.2		
Turbocharger coolant flow rate (l/min)	7001	5.0 <	5.6	< 9.0	
Engine (water jacket) outlet coolant temperature (°C)	7001		110.9	< 110.0	
Engine (water jacket) temperature increase (°C)	7001		8.4	< 8.0	
Oil cooler coolant side temperature increase (°C)	7001		6.7	< 10.0	

Assessment: 60.0% 80.0%

NUTZERFREUNDLICHER AUFBAU

Eine schnelle und einfache Benutzerführung der Aufgabenbibliothek ist für die Akzeptanz seitens der Anwender eine Grundvoraussetzung. Neben einer aussagekräftigen Bezeichnung und Übersicht wurden deshalb unterschiedliche Filter- und Suchfunktionen (Baugruppe, Tool, Ziel, Methode) eingebaut.

Jede Aufgabe verfügt über eine eindeutige Identifikationsnummer (ID) und ist der prinzipiellen Baugruppenstruktur eines Motors zugeordnet, zum Beispiel Ventiltrieb, Kühlkreislauf etc. In einer Übersicht sind alle für die Auswahl relevanten Beschreibungen aufgeführt (Identifikation per ID, Name, Beschreibung, Mehrwert, vorrangige Entwicklungsziele, betroffene Baugruppen/Systeme, Methode, benutztes Tool).

In jedem Projekt, in dem die kunden-spezifischen Nummernschlüssel „gegen“ die AVL-spezifischen Nummern „gemappt“ (entschlüsselt) wird, sind die jeweils benutzen Aufgaben unter ihrer ID wiederzufinden. So ist es möglich, unter Beibehaltung des eigenen Entwicklungsprozesses die dem Kunden vertraute Nomenklatur zu verwenden. Jedes Projekt besteht aus einer Anzahl unterschiedlicher Berechnungsaufgaben. Bei einem kompletten Motor können dies durchaus 40 bis 50 sein. Zur Beurteilung der in der Simulation ermittelten Abnahmekriterien kann aus

5 Leistungsattribute (hier: Strömungsoptimierung des Wassermantels) lassen sich projektbezogen definieren und mit vorhandenen Daten vergleichen

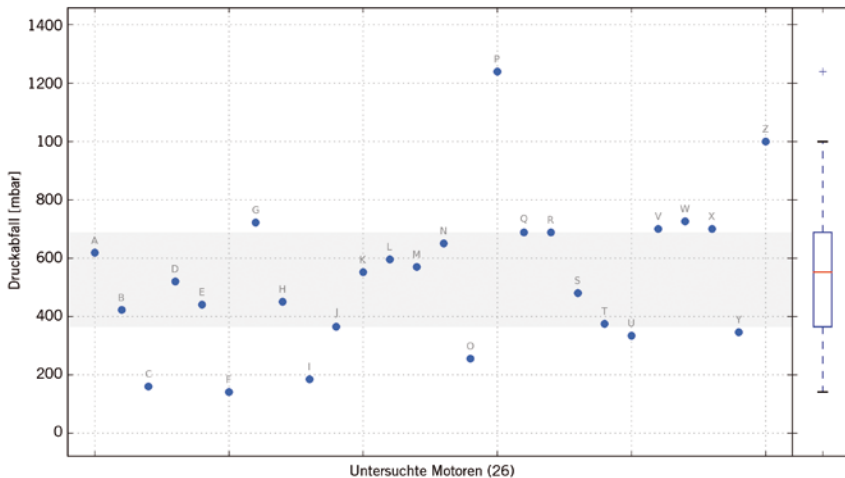
insgesamt rund 4000 Attributen ausgewählt werden.

Die standardisierte, systemtechnisch unterstützte Erfassung dieser Kriterien gestattet den automatischen Aufbau einer Benchmark-Datenbank für Bauteile und Systeme. Die Abfrage nach dem typischen Druckverlust eines Pkw- oder Nfz-Kühlwassermantels ist damit sowohl für den erfahrenen Ingenieur, als auch den frisch eingeschulten Studienabgänger mit nur einem Mausklick möglich.

WISSENSBASIS AKTIV FÜR NEUE PROJEKTE NUTZEN

Ganz besonderen Wert hat man auf die Bewertung von Leistungsattributen und die Zielverfolgung im CAE-Prozess gelegt. Alle Berechnungen sind strukturiert und projektbezogen gespeichert, sodass für neue Aufgaben auf diese Daten zurückgegriffen werden kann.

Solche Leistungsattribute (Performance Attributes, PA, 5) sind nach funktionalen



6 Die Ergebnisse abgeschlossener Projekte können als Bewertungsmaßstab (Benchmark) für neue Projekte genutzt werden – hier: 26 Motorvergleiche für den kühlmittelseitigen Druckabfall im Kühler bei einer Referenz-Durchflussrate

Gesichtspunkten (Emissions, NVH, Durability etc.) sortierte messbare Eigenschaften von Systemen oder Komponenten, die mit applikationsspezifischen Zielsetzungen verknüpft sind, zum Beispiel der Druckabfall in der Kühlflüssigkeit von Zylinderkopf oder Motorblock. Die zugehörigen Werte können mittels CAE oder Versuchen ermittelt oder vom Kunden/Lieferanten vorgegeben werden. 6 zeigt: Die Ergebnisse abgeschlossener Projekte können als Bewertungsmaßstab (Benchmark) für neue Projekte genutzt werden – hier zum Beispiel: 26 Motorvergleiche für den kühlmittelseitigen Druckabfall im Kühler bei einer Referenz-Durchflussrate.

Ein Vergleich der Leistungsattribute kann beispielsweise auch für den Maximalwert der Temperatur des Zylinderkopfs erfolgen, der aus bereits durchgeführten Berechnungen ermittelt wurde. Wird er in iCAE ausgewählt, kann er mit der im aktuellen Projekt ermittelten Temperatur verglichen werden. Ist dieser Wert innerhalb des Bereichs der Maximaltemperatur, die für das Projekt aus den PAs ermittelt wurde, schaltet die Ampel auf Grün. Steht sie dagegen auf Gelb oder Rot, bedeutet dies, dass eine Konstruktionsänderung durchgeführt und eine neue Simulation mit der geänderten Konstruktion durchgeführt werden muss.

Erst wenn alle für die Entwicklung definierten Kriterien erfüllt sind, erfolgt die Freigabe im Rahmen von sogenannten Quality-Gates (der Projektstand wird vor dem nächsten Schritt überprüft).

FAZIT

Mit dem webbasierten Portal iCAE hat man bei AVL eine Daten- und Wissensmanagement-Lösung entwickelt, die höchste Ansprüche zufriedenstellt. Spezielles Augenmerk liegt dabei auf der Problematik einer CAE-gestützten Freigabe, die bislang zwar systemtechnisch gelöst wurde, aber noch nicht in allen möglichen Bereichen in die Entwicklungspraxis Einzug gehalten hat.

Mit dem Portal lassen sich die Suchzeiten deutlich minimieren. Außerdem können sich neue Mitarbeiter sehr schnell in Projekte einarbeiten und von dem in iCAE gespeicherten Wissen erfahrener Kollegen profitieren.

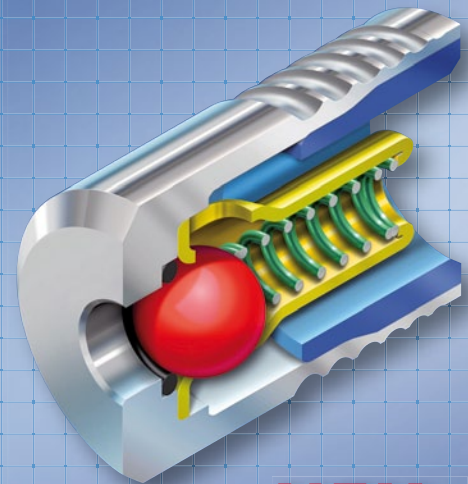
Als eines der zahlreichen Simulationswerkzeuge im unter iCAE genutzten CAE-Szenario ordnet man der Systemsimulation mit dem 1D-CFD-Softwareprogramm Flowmaster V7 vom gleichnamigen Hersteller einen besonderen Stellenwert zu. Mit vergleichsweise einfachen Mitteln und unterstützt durch die hohe Integrationstiefe ist es mit wenigen Arbeitsschritten möglich, eine schnelle und übersichtliche Konzeption und Analyse auch komplexer Sachzusammenhänge der Strömungssimulation durchzuführen. Der Aufbau der in Flowmaster V7 verwendeten einfachen Modelle ist wesentlich übersichtlicher als eine Generierung komplexer 3D-CFD-Modelle auf Basis von CAD-Daten.

LITERATURHINWEIS

[1] Flowmaster V7: www.flowmaster.com/de. Homepage vom 16. März 2011

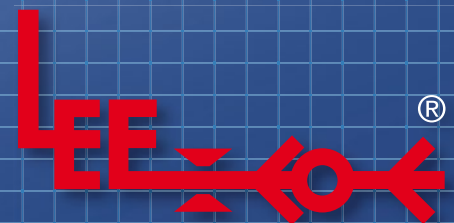
DICHT & SICHER

Lee
Rückschlagventile
Ø 6 mm



NEU:

**Softseat
Ventile für hohe
Dichtigkeit bei
langer Standzeit**



Innovation in Miniatur

LEE Hydraulische
Miniaturkomponenten GmbH

Am Limespark 2 · 65843 Sulzbach
Postfach 1180 · 65796 Bad Soden

Telefon 06196/77369-0
E-Mail info@lee.de · www.lee.de