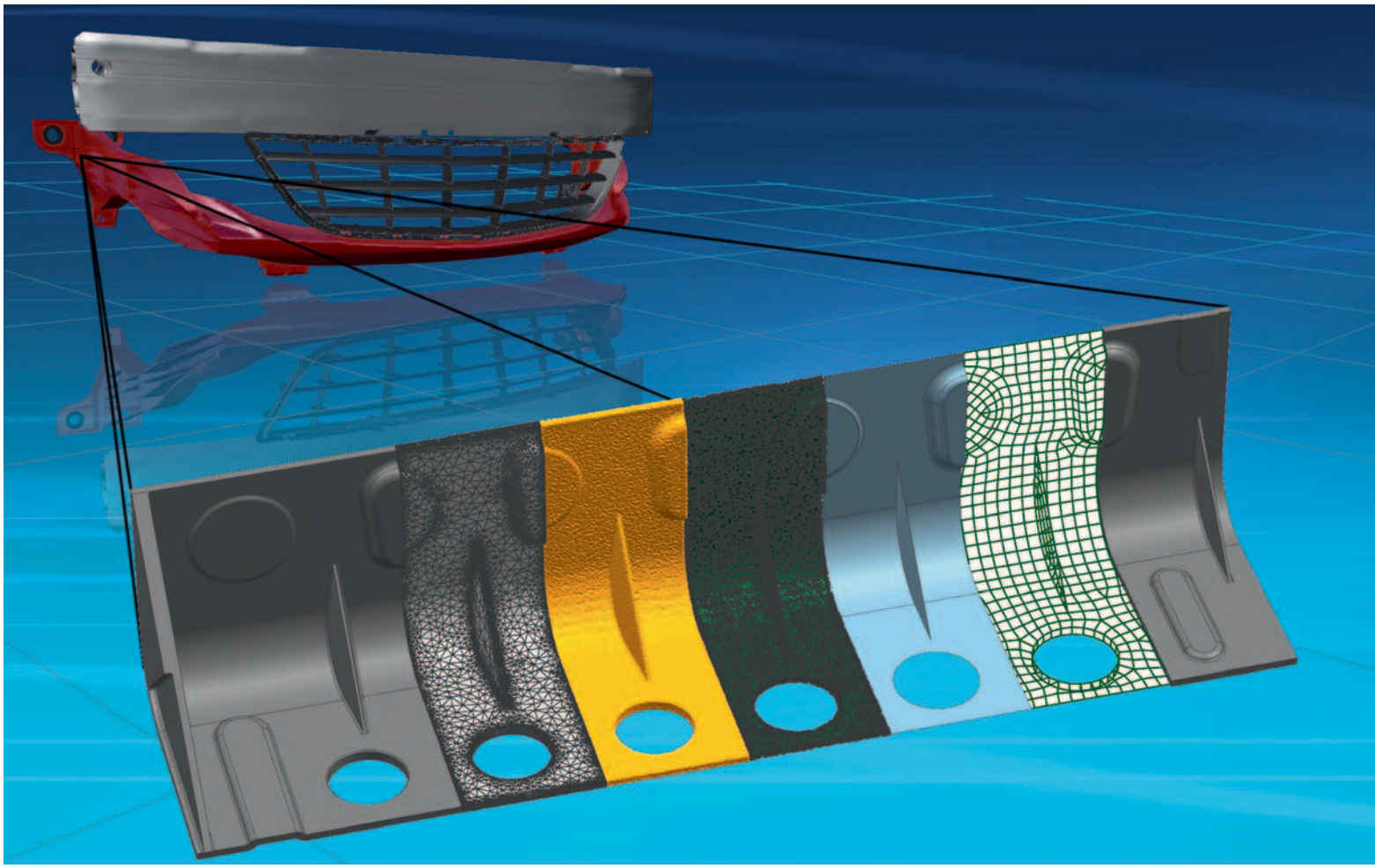


KOMPLEXITÄT

Der Einsatz virtueller Verfahren und Simulationen in der Automobilentwicklung ist seit vielen Jahren eine Selbstverständlichkeit. Dennoch stellen verschiedene Komponenten immer noch eine Herausforderung dar. Dazu gehören besonders dünnwandige Bauteile, die für Crash-Simulationen oder NVH-Analysen eine wichtige Rolle spielen. Diese Komponenten werden von Berechnungsingenieuren mit sogenannten Mittelflächen modelliert.

Mit den derzeitig verfügbaren kommerziellen Software-Lösungen berechnet man die Mittelflächen vieler Bauteile recht zuverlässig. Dies funktioniert jedoch nur in circa 90 bis 95 % aller Fälle. Die Geometrien der restlichen 5 bis 10 % sind jedoch so komplex, dass Berechnungsingenieure deren Mittelflächen mit viel Aufwand manuell erzeugen müssen. Der Aufwand für diese Mittelflächen liegt bei circa 70 bis 90 % der gesamten Vernetzungszeit; je nach Komplexität kann er für ein einzelnes Bauteil von einem Tag bis zu 14 Tagen betragen.

FORSCHUNGSPROJEKT AUTOMEX

Der CAE-Entwicklungspartner Tecosim und die Hochschule RheinMain haben sich im Rahmen des gemeinsam initiierten Automex-Forschungsprojekts „Automatische Extraktion von Mittelflächenbeschreibungen aus 3-D-CAD-Volumenmodellen“ eingehend mit der Thematik der Mittelflächenerzeugung befasst. Ziel des vom Land Hessen geförderten Projekts war die Entwicklung einer Softwarelösung, mit der man auch bei komplexen Geometrien wie bei Kunststoff- oder Metallgussteilen automatisch ein Mittelflächenmodell erhält – besonders in den Fällen, die bisher manuell nachbearbeitet werden mussten.

Das Forschungsteam des Projekts, das ein hohes Maß an informatischer und technischer Kompetenz erforderte, setzte sich aus Mitarbeitern von Tecosim und den Fachbereichen Maschinenbau und Medieninformatik der Hochschule RheinMain zusammen. Die Zusammenarbeit der beiden Fachbereiche der Hochschule erzeugte hierbei

AUTOMATISCHE ERZEUGUNG VON FEM-MITTELFLÄCHEN AUS CAD-DATEN

Dünnwandige Bauteile, wie sie im Rahmen des Leichtbaus immer häufiger konstruiert werden, stellen eine große Herausforderung für die technische Simulation dar. Diesem Thema hat sich Tecosim zusammen mit der Hochschule RheinMain im Automex-Projekt angenommen und dabei eine neuartige Methode zur automatischen Erzeugung von Mittelflächen entwickelt, welche die bislang notwendige, teilweise sehr aufwändige manuelle Konstruktion solcher Flächen ersetzt. Am Beispiel stark verrippter Bauteile wie einem Kühlergrill wird gezeigt, dass der Arbeitsaufwands für das Vernetzen erheblich gesenkt werden können.

AUTOREN

DR. ANDRÉ BACKES
ist Technical Expert bei der Tecosim Technische Simulation GmbH in Rüsselsheim.

PROF. DR.-ING. CHRISTIAN GLOCKNER
ist Professor für CAM Werkzeugmaschinen / Produktionstechnik am Fachbereich ING der Hochschule RheinMain in Rüsselsheim.

PROF. DR. ULRICH SCHWANECKE
ist Professor für Medieninformatik am Fachbereich DCSM der Hochschule RheinMain in Wiesbaden.

genau die für die erfolgreiche Bearbeitung des Projekts erforderlichen Synergien. Der praktische Bezug wurde durch Tecosim sichergestellt.

EINSATZ VON MITTELFLÄCHEN – VORTEIL UND HERAUSFORDERUNG

Tecosim führt die meisten seiner Berechnungen und Simulationen zur Untersuchung von Eigenschaften und Verhaltensweisen mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) durch. Bei der Arbeit mit komplexen dünnwandigen Bauteilen greift man auf sogenannte Flächenmodelle zurück, da eine umfassendere Darstellung im Rahmen des normalen Projektalltags zu aufwändig wäre. In der Regel wird das Bauteil dabei durch eine in der Mitte liegende Fläche, die bereits erwähnte Mittelfläche, repräsentiert. Diese Mittelfläche gibt alle wesentlichen Bauteil- und Materialmerkmale wieder und wird in der eigentlichen Simulation als zweidimensionales Netz dargestellt. Um sinnvolle und aussagekräftige Simulationsergebnisse zu liefern, müssen die 2-D-Netze verschiedenen Gütekriterien bezüglich Kantenlänge, Elementwinkel und Verwölbung der Viereckelemente genügen.

Die Mittelflächen dünnwandiger Bauteile werden üblicherweise nicht von den Konstrukteuren der Komponenten mitgeliefert. Sie müssen zu Beginn des Simulationsprozesses erzeugt werden. Hierfür gibt es spezielle Softwarepakete. Diese Programme berechnen die Mittelfläche eines Bauteils, indem sie die Bauteilgeometrie in Oberflächen- und Randgeometrie unterteilen. Kriterien hierfür sind Symmetrieeigenschaften und die Richtung der Dünnwandigkeit. Wie eingangs erwähnt, liefert dieses Vorgehen für etwa 90 bis 95 % aller Bauteile zufriedenstellende Lösungen.

Komplexere Bauteile, wie etwa Metallguss- und Kunststoffspritzgussteile, besitzen oft keine verwendbare Symmetrie und die Unterteilung in Rand und Oberfläche ist nicht mehr eindeutig möglich. Hier können derzeit auf dem Markt verfügbare kommerzielle Softwarelösungen oft keine brauchbaren Mittelflächen berechnen. In diesem Fall müssen die Mittelflächen von Experten manuell konstruiert werden.

DIE MEDIALE ACHSE

Die automatische Bestimmung der Mittelfläche eines Bauteils wird vor allem durch die Tatsache erschwert, dass diese nicht immer eindeutig definiert ist. Mathematisch eindeutig bestimmt ist hingegen die sogenannte mediale Achse. Die mediale Achse eines volumetrischen Objekts besteht dabei aus allen Punkten innerhalb des Objekts, welche mindestens zwei nächste Punkte zum Rand des Objekts besitzen, ❶. Die mediale Achse eines volumetrischen Objekts ist damit eine skelettartige Fläche, welche die Dimensionalität des Objekts reduziert, wobei seine eigentliche Form erhalten bleibt. Mediale Achsen wurden das erste Mal 1967 von Blum zur Beschreibung biologischer Formen verwendet [1]. Seit dieser Zeit fanden sie zahlreiche weitere Anwendungen, zum Beispiel bei der Objektklassifikation, der Pfadplanung von Robotern oder der Erzeugung von FE-Netzen [2].

Die Berechnung der exakten medialen Achse eines volumetrischen Objekts ist sehr aufwändig. Sie hängt stark von der Beschreibung des Objektrands ab. Selbst für Objekte mit stückweise linearem Rand werden hierbei überaus komplexe algebraische Methoden benötigt. Da diese zu langen Rechenzeiten führen, werden sie in der Praxis nur für die Bearbeitung einfacher Objekte eingesetzt [3].

Eine mögliche Lösung dieses Problems besteht darin, nicht die exakte mediale Achse, sondern nur eine Approximation derselben zu berechnen. Gerade technische Bauteile werden durch eine solche Annäherung meist besser beschrieben als durch die tatsächliche mediale Achse. Eine geeignete Approximation lässt sich zum Beispiel durch die Verwendung einer anderen als der euklidischen Abstandsmetrik berechnen [3, 4]. Die Metrik kann dabei so gewählt werden, dass alle Berechnungen im Körper der rationalen Zahlen stattfinden, was zu numerisch stabilen Algorithmen führt. Allerdings müssen die Objekte hierbei zunächst in eine spezielle volumetrische Repräsentation überführt werden. Vor allem für komplexe Bauteile ist dies sehr aufwändig, insbesondere wenn der dabei auftretende Fehler gering sein soll.

Eine andere Möglichkeit, die mediale Achse eines Objekts zu approximieren, ist die sogenannte Scale Axis [6]. Hierbei wird das gesamte Objekt durch eine Menge von Kugeln approximiert [7]. Die Mittelpunkte aller Kugeln definieren dann die Scale Axis. Über die Wahl der zulässigen kleinsten Kugeln kann die Approximation der medialen Achse des Objekts gesteuert werden. Je kleiner die Kugeln werden, desto mehr Details des eigentlichen Objekts werden erfasst. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass sie Flächenfragmente mit falscher Topologie erzeugen kann. Diese müssen dann in einem nachgeschalteten Schritt herausgefiltert werden.

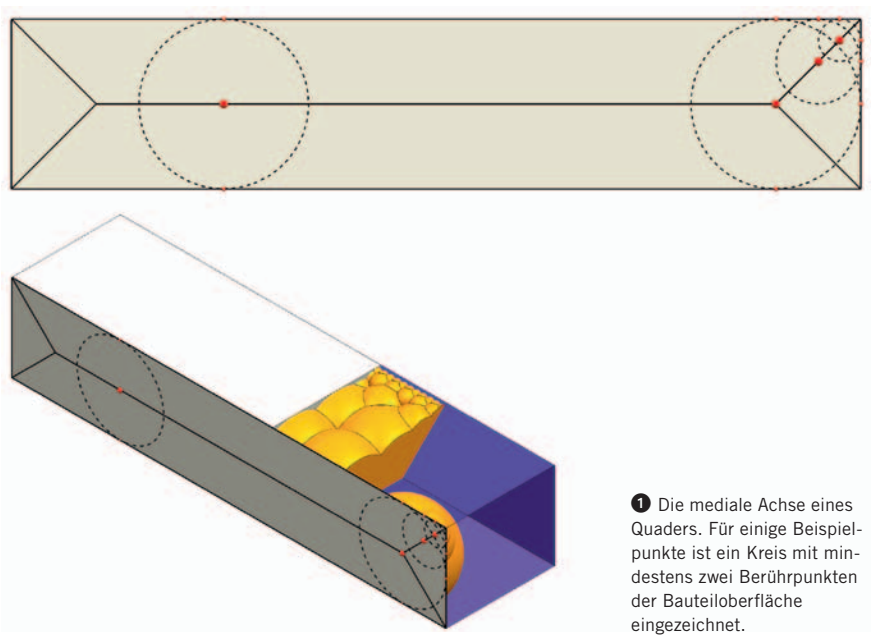
DIE TECHNISCHE MITTELFLÄCHE

Im Rahmen des Automex-Projekts wird die mediale Achse eines Objekts zunächst durch eine Scale Axis approximiert. Ausgangspunkt ist dabei ein Polygonnetz der Bauteiloberfläche, das auf Basis der ursprünglichen CAD-Geometrie erstellt wird. Auch die erzeugte Scale Axis wird als Polygonnetz repräsentiert. Dieses muss anschließend so bearbeitet werden, dass eine technisch nutzbare Mittelfläche entsteht. Für eine solche technische Mittelfläche ist das Polygonnetz der Scale Axis zunächst von den Fragmenten mit falscher Topologie zu befreien. Als nächstes sind die Zerfaserungen an den Randbereichen der Scale Axis zu entfernen. Zum Schluss muss die übrig gebliebene Fläche bis zur Bauteiloberfläche erweitert werden. ❷ stellt die jeweiligen Schritte dar.

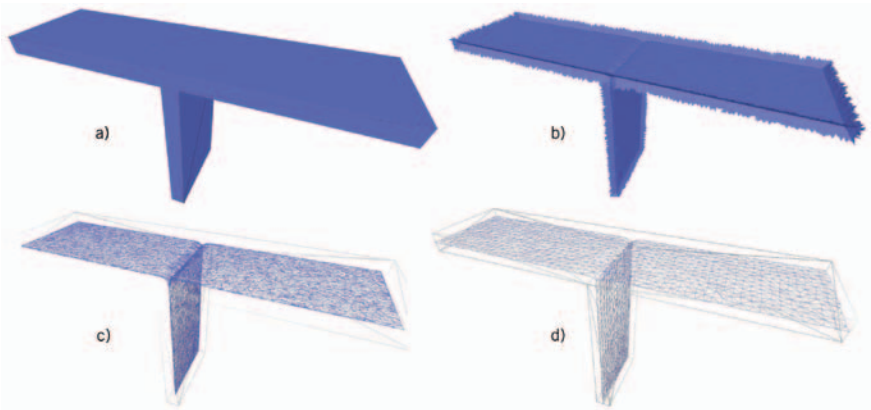
Für FEM-Simulationen, die auf der Mittelfläche eines Bauteils basieren, wird schließlich ein Netz aus Dreiecken und Vierecken benötigt, das hohen Anforderungen entspricht. Qualitätsmerkmale sind hier zum Beispiel die Kantenlänge, Element-Winkel oder die Verwölbung von Viereckelementen. Für zuverlässige Simulationsergebnisse müssen diese Kenngrößen des FE-Netzes vorgegebenen Richtwerten entsprechen. Ein weiterer entscheidender Aspekt bei der Generierung eines FE-Netzes sind die sogenannten Feature-Linien des Bauteils, das heißt markante Linien auf der Bauteil-Geometrie. Sie repräsentieren charakteristische Merkmale. Diese Feature-Linien müssen auch im FE-Netz Berücksichtigung finden, damit die charakteristischen geometrischen Eigenschaften des Bauteils für die Simulation gut abgebildet sind. Zum Beispiel ist es erforderlich, dass die Element-Knoten an Bauteilkanten genau auf der Kante liegen. Eine Herausforderung bei der Mittelflächengenerierung besteht somit auch darin, die Feature-Linien aus der Objektgeometrie zu extrahieren und geeignet auf die technische Mittelfläche zu übertragen, ❸.

DER AUTOMEX-PROZESS

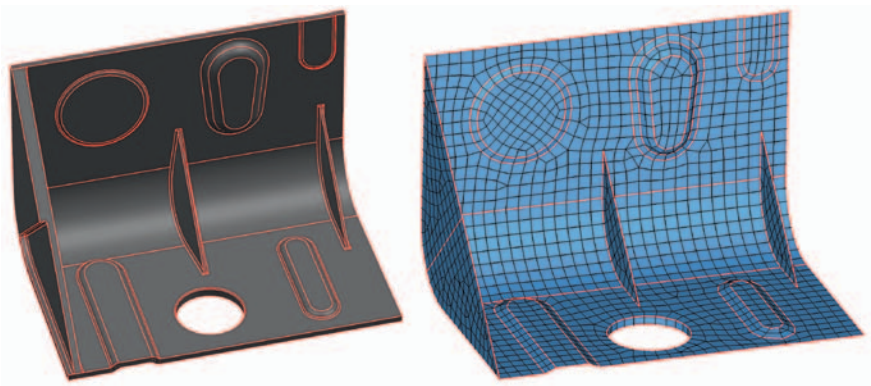
Die Automex-Prozesskette geht von einer triangulierten Bauteiloberfläche aus, die mit hinreichender Genauigkeit aus der CAD-Geometrie erzeugt werden kann.



❶ Die mediale Achse eines Quaders. Für einige Beispielpunkte ist ein Kreis mit mindestens zwei Berührpunkten der Bauteiloberfläche eingezeichnet.



❷ Vom Bauteil zur technisch nutzbaren Mittelfläche: a) Ausgangsgeometrie, b) Scale-Axis-Netz, c) Scale Axis nach Entfernung der Zerfaserungen der Randbereiche, d) erweiterte, geglättete und fusionierte Mittelflächenelemente



❸ Feature-Linien (rot) im Bauteil (links) und auf der technisch nutzbaren Mittelfläche (rechts)

❹ veranschaulicht die wesentlichen Einzelschritte. Diese bestehen aus folgenden Merkmalen:

- Bauteil-Tetraedisierung
- Scale-Axis-Berechnung und -Kontrolle
- Topologiekorrektur
- Fusion oder Verlängerung von Teilflächen und deren Glättung.

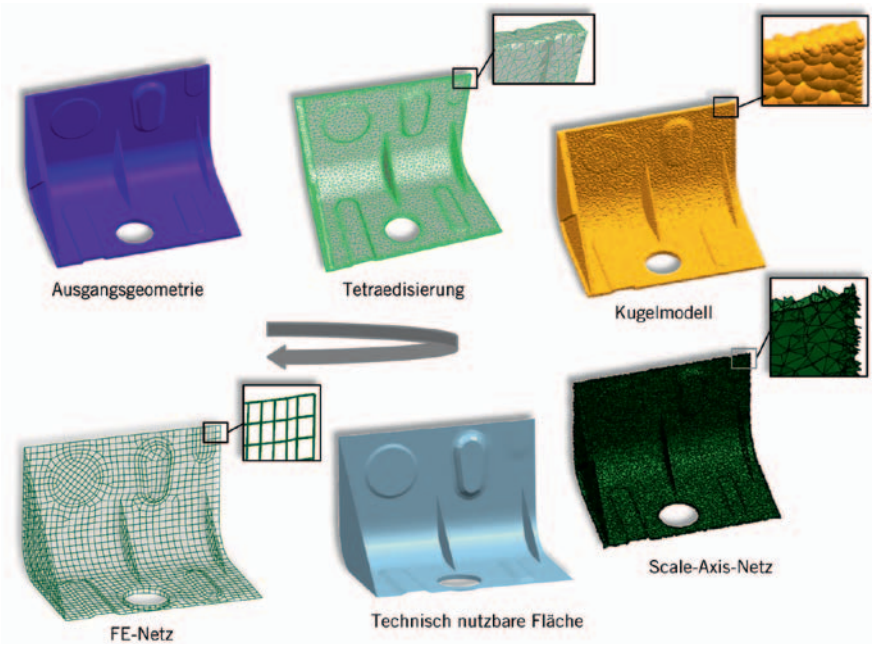
Bei der abschließenden Erzeugung eines problemorientierten FE-Netzes kann Tecosim bereits eigene, etablierte Verfahren zusammen mit Automex nutzen.

Wie zuvor beschrieben sind die gewünschten technischen Mittelflächen nicht immer eindeutig. Ihre Gestalt hängt von der Problemstellung in der Simulation, den jeweiligen Kundenanforderungen wie auch vom subjektiven Empfinden des Ingenieurs ab. Hierzu wendet Automex einfache, formal fassbare Strategien an, um von der mathematischen medialen Achse eine in der Simulation nutzbare Mittelfläche abzuleiten.

ERGEBNISSE

Im Rahmen des Projekts Automex wurde ein Softwaresystem zur automatischen Erzeugung von technisch verwertbaren Mittelflächen auch stark verrippter, volumetrischer Bauteile entwickelt. Die generierten Mittelflächen lassen sich als FE-Netze für die technische Simulation verwenden. Als Eingangsdaten für das entwickelte System dient ein Polygonnetz des zu bearbeitenden Bauteils. Zu diesem Bauteil wird dann zunächst die Scale Axis als Approximation der medialen Achse berechnet.

Im nächsten Schritt erfolgt eine Glättung dieser Fläche. Hierbei werden insbesondere Zerfaserungen an den Enden entfernt. Anschließend wird die gefilterte Fläche bis zum Rand der eigentlichen Objektgeometrie verlängert. Im letzten Schritt muss diese Fläche neu vernetzt werden, um eine technische Mittelfläche zu erzeugen, die eine für die FEM-Simu-



❹ Automex-Prozessschritte: Bauteil, neu mit Tetraedern vernetztes Bauteil, Kugelapproximation, Scale-Axis-Netz, technisch nutzbare Mittelfläche und resultierendes FE-Netz

DANKE

Dieses Projekt (HA-Projekt-Nr. 300/11-45) wird im Rahmen von „Hessen Modellprojekte" aus Mitteln der Loewe-Landesoffensive zur Entwicklung wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben gefördert. Weitere gleichberechtigte Autoren dieses Beitrags sind: M. Sc. Fabio Campos und Dipl.-Ing. (DH) Ulrich Heil (beide Fachgebiet Medieninformatik der Hochschule RheinMain) sowie M. Eng. Manuela Wenzel (Fachgebiet Maschinenbau der Hochschule RheinMain). Die Autoren bedanken sich beim Automobilhersteller Opel für die Bereitstellung originaler Bauteile.

lation ausreichende Qualität besitzt. Hierbei sind insbesondere auch Feature-Linien zu berücksichtigen und den einzelnen Flächenelementen Attribute, wie zum Beispiel Materialeigenschaften oder Bauteildicken, zuzuweisen.

FAZIT UND AUSBLICK

Ende 2013 wurde das Forschungsprojekt Automex erfolgreich abgeschlossen. Aktuell wird das entwickelte Verfahren in den Simulationsprozess von Tecosim integriert. Es ist geplant, dass Tecosim die Software im Laufe des ersten Halbjahres 2014 in zahlreichen Anwendungsgebieten im Projektgeschäft einsetzt. Der CAE-Entwicklungspartner erwartet von der Automatisierung der Mittelflächenerzeugung wichtige Wettbewerbsvorteile. Durch die Automatisierung vereinfachen sich interne Prozesse erheblich, so dass Zeit und Kosten deutlich eingespart werden können.

Die schnellere Bearbeitungszeit und Projektabwicklung sowie die sinkenden Kosten sind entscheidende Argumente im Wettbewerb um Kunden. Durch die automatisierte Erstellung werden die Simulationsergebnisse zudem objektiv nachvollziehbarer und schließlich lassen sich Fehler vermeiden, die bei der manuellen Bearbeitung entstehen können.

LITERATURHINWEISE

[1] Blum, H.: A Transformation for Extracting New Descriptors of Shape. In: Models for the Perception of Speech and Visual Form. W. Wathen-Dunn, Ed., Cambridge, Mass.: MIT Press, 1967

[2] Gursoy, H. N.; Patrikalakis, N. M: An Automatic Coarse and Finite Surface Mesh Generation Scheme Based on Medial Axis Transform. Part 1: Algorithms. In: Engineering with Computers, 8:121–137, 1992

[3] Culver, T.; Keyser, J.; Manocha, D.: Exact Computation of the Medial Axis of a Polyhedron. In: Comput. Aided Geom. Des., 21(1):65–98, 2004

[4] Aichholzer, O.; Aigner, W.; Aurenhammer, F.; Jüttler, B.: Exact Medial Axis Computation for Triangulated Solids with Respect to Piecewise Linear Metrics. In: Curves and Surfaces, 1–27, 2010

[5] Jüttler, B.; Poteaux, A.; Song, X.: Medial Axis Computation Using a Hierarchical Spline Approximation of the Signed Distance Function. Technical report, 2010

[6] Miklos, B.; Giesen, J.; Pauly, M.: Discrete Scale Axis Representations for 3D Geometry. In: Siggraph '10: ACM Siggraph 2010 papers, pp. 1–10, New York, NY, USA: ACM, 2010

[7] Amenta, N.; Kolluri, R. K.: The Medial Axis of a Union of Balls. In: Computational Geometry 20, No. 1-2, pp. 25–37, 2001

DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.springerprofessional.de/ATZ

READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
order your test issue now:
springervieweg-service@springer.com