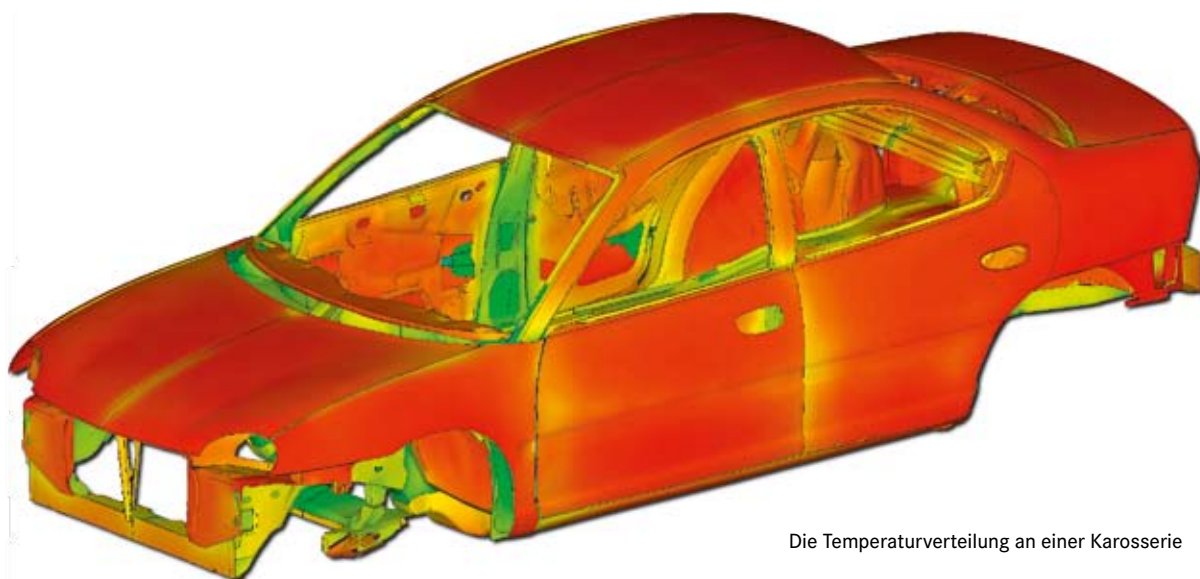


AKTUELLER STAND UND NEUE ENTWICKLUNGEN

Prozesssimulation in der Karosserielackierung

Die Entwicklungszeiten für neue Fahrzeug-Modelle werden immer kürzer. Deshalb soll die Produktion eines neuen Fahrzeugtyps ohne aufwendige Vorversuche starten. Damit trotzdem die Qualität der Lackierung und des Korrosionsschutzes von Anfang an stimmen, wird die Simulation von Lackierprozessen immer wichtiger.



Die Temperaturverteilung an einer Karosserie



Kürzere Entwicklungszeiten, geringe Anzahl an Prototypen, weniger aufwendige Vorversuche: Diese Trends in der Fahrzeugentwicklung betreffen auch die Lackierung und den Korrosionsschutz. Daher wird die „virtuelle Lackierung“, das heißt die Simulation von Lackierprozessen für die Prozessplanung und Bewertung der Karosseriekon-

struktion zunehmend wichtiger. Zugleich wollen die Entwickler konstruktive Maßnahmen für die Lackierung in der Simulation evaluieren, um vorab Aussagen zur Qualität machen zu können.

Das bedeutet: Die Entwicklung verlagert sich immer mehr in den Rechner. Im Laufe der vergangenen Jahre sind Applikationen und Methoden entwickelt wor-

den, um typische Prozesse der Fahrzeuglackierung analysieren und berechnen zu können. Dies gilt unter anderem für Tauchprozesse (Ein- und Austauchen, Lufteinschlüsse, Badverschleppung), für die Schichtbildung bei der KTL-Lackierung, für den Lackauftrag mittels elektrostatischem Sprühen, für die Trocknung im Ofen und die UV-Härtung.

Tauchsimulation für das KTL-Bad

Seit über zehn Jahren entwickelt die Cadfem GmbH ihre Simulations-Tools, die zum größten Teil in Zusammenarbeit mit der BMW AG entstanden sind und die unter dem Namen VirtualPaintShop (VPS) verfügbar sind, kontinuierlich weiter.

Beispielsweise kann man heute das Verhalten einer Gesamtkarosserie beim Ein- und Austauchen in ein KTL-Bad virtuell hervorragend abbilden. Auf diese Weise ermittelt man diejenigen Bereiche, in denen entweder beim Eintauchen Luft eingeschlossen wird und demzufolge keine Lackierung stattfindet, oder in denen nach dem Austauchen Lackreste verbleiben (Badverschleppung). Das Fahrzeug wird mit allen eingeschlossenen Volumina durch ein Finite-Elemente-Netz abgebildet und virtuell in ein Lackbad eingetaucht. Die Bewegung der Flüssigkeit und der Luft wird quasi-statisch mit speziell dafür entwickelten Methoden berechnet.

Eine Tauchkurve definiert eventuelle Dreh- oder Kippvorgänge des Fahrzeuges während des Ein- und Austauchens und innerhalb des Bades beim Durchfahren des Beckens. Im eingetauchten Zustand können eingeschlossene Luftblasen visualisiert werden, im ausgetauchten Zustand die verbleibende Flüssigkeitsmenge. Mit Hilfe der Simulation kann sehr einfach das Verhalten aufgrund verschiedener Tauchkurven verglichen werden. Zudem können unterschiedliche Konstruktionsvarianten bezüglich der Zu- und Ablaufbohrungen virtuell untersucht werden.

Abweichend von den ersten oberflächenbasierten Modellen nutzt man heute einen Lösungsan-

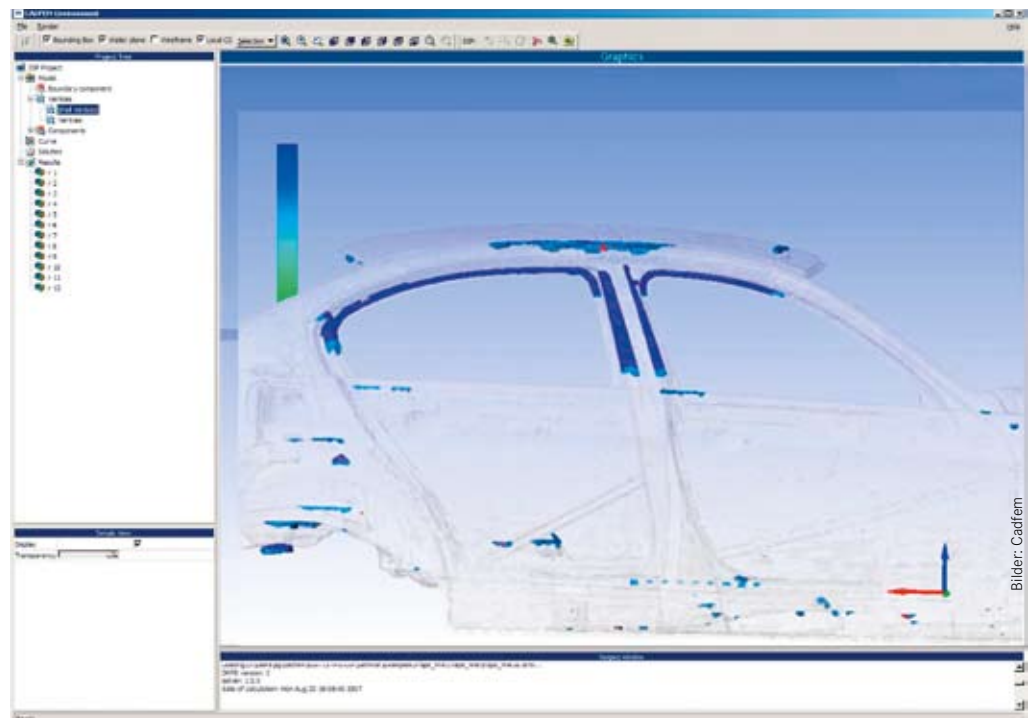
satz, der auf Massenerhalt und Druckgleichgewichten basiert. Viele Testbeispiele zeigen, dass dieses Modell das physikalische Verhalten beim Tauchprozess realistischer beschreibt.

Schichtbildung bei der Tauchlackierung

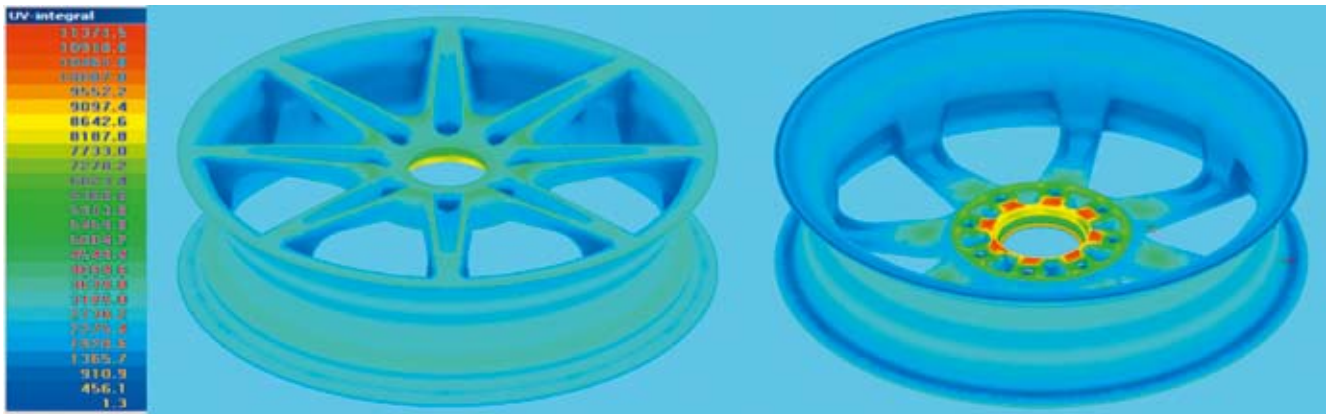
Wenn die Rohkarosserie KTL-beschichtet wird, muss auch in schwer zugänglichen Bereichen wie zum Beispiel im Innenraum des Schwellers oder der A-/B-/C-Säulen eine ausreichende Lackdicke erreicht werden. Um dies sicherzustellen, wird zunächst das elektrische Feld mit der FE-Methode um die gesamte Karosserie und die inneren Bereiche berechnet. Daraus abgeleitete lokale Stromdichten beeinflussen das Schichtwachstum. Wie bei der Tauchsimulation ist ein FE-Netz der eingeschlossenen Volumina erforderlich, das auch die Abmessungen des Beckens und die Form der Anoden abbildet. Als Randbedingung für die Simulation können die zeitlichen Verläufe der Spannungen an den Anoden im Lackbecken vorgegeben werden.

Da die Materialeigenschaften des Lackes sehr individuell sind, lassen sie sich nicht verallgemeinert darstellen. Sie müssen über Versuche ermittelt und mit einem entsprechenden Simulationsmodell abgeglichen werden. Ein direktes Ergebnis dieser Simulation ist die Schichtdicke an der Oberfläche der gesamten Karosserie. Die Anlagenplaner können die Innenseiten der Bleche von eingeschlossenen Bereichen auswerten und Maßnahmen für einen ausreichenden Korrosionsschutz treffen. Bereiche mit einer kritischen Schichtdicke lassen sich einfach identifizieren; der zeitliche Verlauf der Schichtbildung kann in Animationen visualisiert werden.

Während die ersten Simulationsmodelle dieser Art noch sehr zeitaufwendig waren, kann man heute – dank verbesserter Software und höherer Rechenleistung – innerhalb eines Tages Vollmodelle von Karosserien mit mehr als zehn Millionen Volumenelementen berechnen. Zudem wurde viel Know-how zur Bestimmung der beschreibenden Größen im Abscheidengesetz aufgebaut.



Hier wird das Tauchen einer BMW-Karosserie simuliert. Im eingetauchten Zustand können eingeschlossene Bereiche hervorgehoben werden, im ausgetauchten Zustand ist die verbleibende Flüssigkeitsmenge zu erkennen.



Simulation der UV-Härtung an einer Felge

Simulation des Temperaturverlaufs bei der Trocknung

Neben der Lacktrocknung und -aushärtung müssen die Trocknungsprozesse häufig auch die Anforderungen für Bake-Hardening, Kleberaushärtung und Expansion von Blähformteilen erfüllen. Wegen der Ansprüche an Temperatur und Prozesszeit ist die mechanische Belastung der Komponenten oft ein kritischer Faktor. Hierfür gibt es ein Tool, das die Temperaturverteilung auf einer Karosserie in einem Trocknerofen berechnet und dabei die jeweiligen Randbedingungen für Konvektion und Strahlung berücksichtigt. Basis der Berechnungen ist ein Flächennetz – hier kann der Autohersteller vorhandene Netze aus den Bereichen Crash- oder Festigkeitsanalysen verwenden.

Die Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit kann an beliebigen Punkten als Ofenkurve abgegriffen oder als Konturbild an der Karosserie dargestellt werden. Auch Haltezeiten oberhalb vorgegebener Temperaturen lassen sich direkt ableiten. Die Temperaturverteilung als Eingangsgröße für strukturelle Analysen liefert wertvolle Ergebnisse, wie zum Beispiel Verformung, Nassabdruck, lokale Spannungen, Beulen oder das Verhalten von Klebverbindungen an der Karosserie.

Hier hat die kontinuierliche Optimierung der Software zu immer kürzeren Berechnungszeiten geführt, obwohl die

Modelle immer größer und detaillierter werden. So lassen sich über Nacht Modellvarianten rechnen. Auch Fragestellungen zur Deformation oder des Überschreitens kritischer struktureller Spannungen während des transienten Temperaturverlaufes im Ofen werden beantwortet. Diese Modelle sind heute gefragt, weil immer häufiger hochfeste Stähle, Klebverbindungen und Werkstoffe in Mischbauweise eingesetzt werden.

Lackauftrag durch Sprühapplikation

Bei der Simulation des Lackauftrags wird die Verteilung der Lacktröpfchen ermittelt und die Schichtbildung auf der Oberfläche abgeleitet. Entlang einer Bahn des Zerstäubers wird diese Schichtbildung an mehreren charakteristischen Orten durchgeführt. Das primäre Ergebnis ist die Schichtdickenverteilung an der Karosserie-Oberfläche. Prozessparameter wie die Strömungsverhältnisse, die Lenkluft, die Spannung oder die Bahnkurve und deren Abstand zur Karosserie können verändert und jeweils neue Varianten simuliert werden.

Virtuelle UV-Härtung

Mit Hilfe der Simulation kann die UV-Intensität und -Dosis ohne Experimente vorhergesagt werden. Damit ist eine kosteneffiziente Prozessplanung auch für komplexe Geometrien möglich. Die Energiedichte des UV-Lichtes wird anhand

eines Lampenmodells beschrieben, das man üblicherweise aus Labormessungen an einer existierenden Lampe abgeleitet hat. Anhand dieser Simulation kann man die Intensität des UV-Lichtes und die eingebrachte Dosis über den Prozessverlauf analysieren.

Die Entwicklung geht weiter

Mit zunehmender Modellvielfalt der Automobilhersteller hält der Trend zu kürzeren Entwicklungszeiten und zur Verringerung der Prototypen-Anzahl an. Der Simulation von Lackierprozessen kommt also immer größere Bedeutung zu, und die Tools werden auch in Zukunft noch verfeinert und verbessert. Mit der Nutzung dieser Tools verfolgen die Hersteller von Lackieranlagen sowie die Automobilhersteller das Ziel, die Durchlaufzeiten zu optimieren, Iterationschleifen bei der Anlagenplanung zu minimieren und Entwicklungskosten zu senken. ─

Die Autoren:

Dipl.-Phys. Gerhard Zelder, Produktmanager Virtual-PaintShop, und Dr.-Ing. Cord Steinbeck-Behrens, Leiter Entwicklung, Cadfem GmbH, Grafing bei München, Tel. 08092-7005-86, gzelder@cadfem.de, www.cadfem.de, www.virtualpaintshop.com