



**Testobjekt:** C-Säulen-Verstärkung eines Pkw als Beispielteil für das Vorgehen beim Simulieren der Rückfederungskompensation. Das Bauteil wird in den vier Operationen Tiefziehen, Beschneiden sowie zweimal Abkanten hergestellt

TIEFZIEHSIMULATION

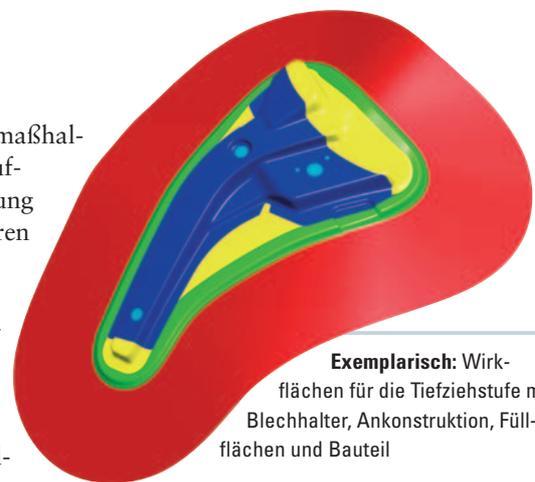
# Simulation bahnt den Weg zum idealen Umformwerkzeug

Mithilfe der Simulation lassen sich Reier und Falten beim Tiefziehen vermeiden. So viel ist sicher. Auch Folgeoperationen sind schon implementiert. Der nächste logische Schritt aus Sicht des Umformers ist es, schon während der Werkzeugentwicklung die berechneten Rckfederungsergebnisse zur Kompensation der Wirkflächen zu nutzen und damit einen weiteren deutlichen Qualittsprung vor der realen Tryout-Phase zu erlangen. Mit der jüngsten Weiterentwicklung einer Simulationssoftware kann dieser Schritt jetzt als vollzogen betrachtet werden.

**DER GEBRAUCH** moderner Blechwerkstoffe und die effiziente Anwendung innovativer Software im Werkzeugbau und in der Methodenplanung sind Voraussetzungen für die Weiterentwicklung der Fahrzeug- und Applikationstechnik. Die Anwendung neuer Werkstoffe, zum Beispiel höchstfester Sthle und Aluminium, macht es zunehmend schwierig – teure Tryout-

Schleifen sind notwendig –, maßhaltige Bauteile herzustellen. Aufgrund der höheren Verfestigung beziehungsweise der geringeren Steifigkeit von Aluminium muss man mit einer deutlich größeren elastischen Rückfederung rechnen.

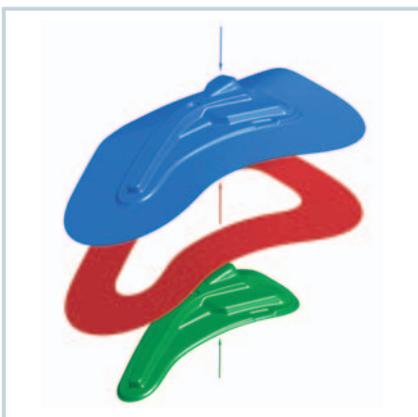
Bis vor kurzem ist die Umformsimulation primär zur Voraussage der konventionellen Versagensfälle wie Reier und Falten während der Tiefziehooperation genutzt worden. Zuletzt wurde mit der Implementierung neuer effizienter Elementtypen auch die Abbildung von Folgeoperationen inklusive



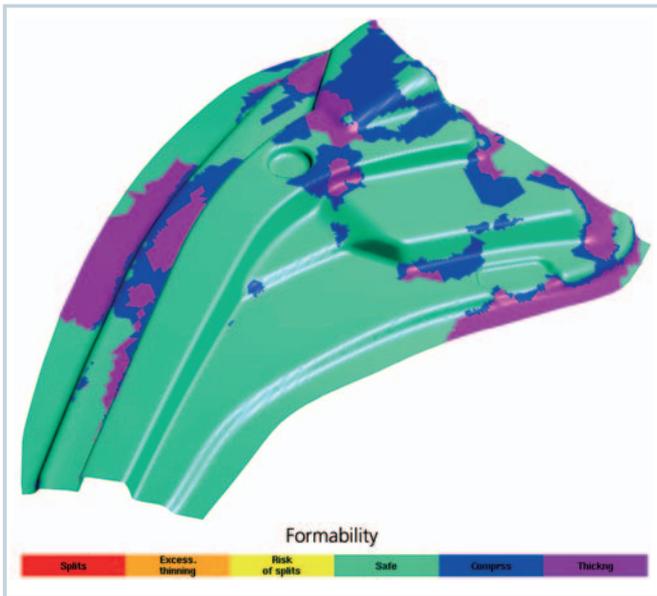
**Exemplarisch:** Wirkflächen für die Tiefziehstufe mit Blechhalter, Ankonstruktion, Füllflächen und Bauteil

der Rckfederungsberechnung möglich. Der nächste logische Schritt aus Sicht der Umformtechniker ist es, schon während der Werkzeugentwicklungsphase die berechneten Rckfederungsergebnisse zur Kompensation der Wirkflächen zu nutzen und damit einen weiteren deutlichen Qualittsprung vor der realen Tryout-Phase zu erlangen. Um die auf Simulationsergebnissen basierte Rckfederungs-

**Anschaulich:** Werkzeuge der Tiefziehooperation einschließlich ihrer Wirkrichtungen. Die durchgängige Assoziativität stellt sicher, dass spätere Geometrieänderungen im ganzen Werkzeugsatz automatisch berücksichtigt werden



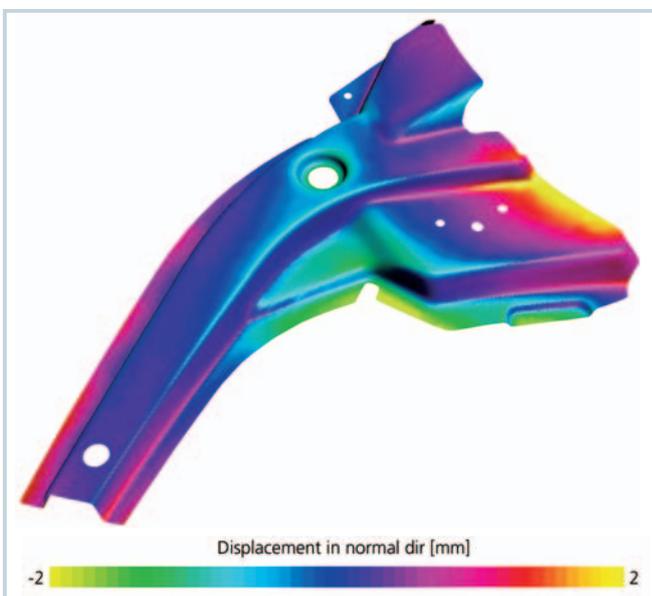
Alle Bilder: DaimlerChrysler/AutoForm

**Nächster Schritt:**

Nachdem ein erstes Werkzeugkonzept aufgebaut und die Tiefziehstufe hinsichtlich Reißer, Falten, Blechdünnung und eventuell Nachlaufkanten überprüft wurde, gilt die Machbarkeit als sichergestellt

kompensation in der industriellen Praxis erfolgreich und sinnvoll anwenden zu können, ist eine Reihe von Voraussetzungen zu erfüllen. Erstens muss es möglich sein, den gesamten Umformprozess, einschließlich aller Folgeoperationen wie Beschneiden oder Abkanten, vollständig und effizient im System aufzubauen und abzubilden. Zweitens verlangt die genaue Rückfederungssimulation eine Finite-Elemente-Formulierung, die Spannungszustände – und nicht nur Dehnungszustände, wie für die Vorhersage des Versagens notwendig – genügend genau abbildet sowie entsprechende Algorithmen, welche die aufwändigen Gleichungssysteme höchst effizient lösen. Drittens muss gewährleistet sein,

dass der gesamte Umformprozess robust gegenüber Streuungen ist. Dazu ist die stochastische Simulation notwendig, bei der automatisch gewisse Parameter variiert und die Resultate praxisnah dargestellt werden, so dass der Prozess hinsichtlich seiner Stabilität optimiert werden kann. Viertens schließlich benötigt der Anwender von Simulationssoftware ein Tool, mit dem er aufgrund der berechneten Rückfederungswerte die Werkzeugwirkflächen anpassen kann, so dass die Rückfederung im Werkzeug kompensiert wird. Dabei muss es möglich sein, bereits in der Praxis erprobte Kompensationsstrategien direkt umzusetzen und nach einigen wenigen Durchläufen ein maßhaltiges

**Erste Begutachtung:**

Rückfederung nach der Entnahme des Bauteils aus den Abkantwerkzeugen

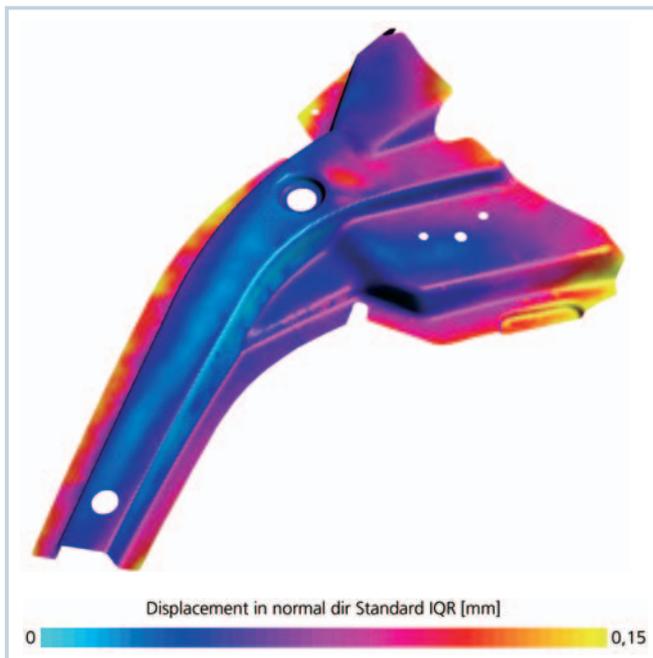
Bauteil sicherzustellen. Nicht zuletzt müssen die kompensierten und abgesicherten Wirkflächendaten wie auch Bearbeitungsrichtungen und zum Beispiel Beschnittlinien über geeignete Schnittstellen den CAD/CAM-Systemen (zum Beispiel Catia, UG oder Tebis) übergeben werden, um dort fräsbare Flächen und schließlich Fräsdaten zu erzeugen.

Die neue Version einer Simulationssoftware, sie heißt ›4.1‹ und stammt von AutoForm Engineering in Zürich/Schweiz ([www.autoform.com](http://www.autoform.com)), erfüllt die simulationstechnischen Voraussetzungen, um den Tryout bis hin zur Rückfederungskompensation virtuell abwickeln zu können. Wie aber gestaltet sich nun das Zusammenspiel der verschiedenen Software-Module? Zu welchem Zeitpunkt soll kompensiert werden? Soll der virtuelle Tryout möglichst zeit- und kostenreduzierend wirken, so ist dem Arbeitsablauf die nötige Bedeutung zuzumessen. Im Folgenden soll unter diesem Gesichtspunkt das Vorgehen am Beispiel der C-Säulen-Verstärkung eines Pkw illustriert werden. Ein solches Bauteil wird in vier Operationen (Tiefziehen, Beschneiden, zweimal Abkanten) hergestellt.

Ausgehend von der Bauteilgeometrie lassen sich die Wirkflächen aller Operationen komplett von der Tiefziehstufe bis hin zu den Folgeoperationen mit der Software ›AutoForm‹ entwickeln. Danach werden die einzelnen Wirkflächen automatisch den entsprechenden Werkzeugen zugewiesen und der Prozess wird definiert (Wirkrichtung und Bewegungsabläufe). Die durchgängige Assoziativität stellt sicher, dass sich spätere Geometrieänderungen im ganzen Werkzeugsatz automatisch berücksichtigen lassen.

**Test der Prozessrobustheit als sinnvoller Zwischenschritt**

Nachdem ein erstes Werkzeugkonzept aufgebaut ist, wird die Auslegung der Tiefziehstufe hinsichtlich Reißer, Falten, Blechdünnung und eventuell auftretender Nachlaufkanten überprüft. Nach einer ersten Optimierung ist nun die Machbarkeit sichergestellt. Schon zu diesem Zeitpunkt sollte man sich einen ersten Überblick über die Rückfederung verschaffen, um zu



**Weiteres Ergebnis:** Die Streubreite der Rückfederung. Man erhält sie, nachdem man typische Streugrößen wie Reibung, Blechhalterkraft, Platinenposition und Werkstoffeigenschaften gemäß einem vorgegebenen Streubereich variiert und die einzelnen Simulationsläufe statistisch ausgewertet hat

klären, ob später die Rückfederung überhaupt geometrisch kompensiert werden kann oder ob das Werkzeugkonzept generell zu überarbeiten ist. Nun liegt ein »präoptimiertes« Konzept vor und es steht fest, dass das Bauteil grundsätzlich machbar ist. An dieser Stelle ist es sinnvoll – bevor man die eigentliche Kompensation ins Auge fasst –, die Robustheit des späteren Herstellungsprozesses zu untersuchen. Die erfolgreiche Kompensation ist schließlich sehr eng gekoppelt an einen robusten Umformprozess, weil die Rückfederung auf Schwankungen von Werkstoff- und Prozessparametern sensitiv reagiert. So zeigt sich auch in der Realität – ohne den Einsatz von Simulationstools –, dass trotz kompensierter Werkzeuge Maßabweichungen als Folge der Rückfederung auftreten. Sehr oft liegt der Grund dafür in instabilen Prozessen. Typische Streugrößen während der Herstellung sind erfahrungsgemäß die Reibung, die Blechhalterkraft, die Platinenposition und die Werkstoffeigenschaften. Lässt man diese in der Simulation automatisch gemäß einem vorgegebenen Streubereich variieren und wertet die einzelnen Simulationsläufe statistisch aus, so erhält man zunächst ein wichtiges Ergebnis: die Streubreite der Rückfederung.

Gewisse Bauteilzonen weisen große Schwankungen der Rückfederung auf, was in der realen Produktion mit ent-

sprechend hohen Ausschussraten verbunden ist. Das Simulationsprogramm ermöglicht hier Aussagen, wie diese Bereiche durch entsprechende Anpassung der Prozessparameter, durch Änderungen am Bauteil oder am Methodenplan positiv beeinflusst werden können. Das Ergebnis der Sigma-Analyse ist ein Umformprozess, der maßhaltige Bauteile mit niedriger Ausschussrate liefert. Das zweite wichtige Ergebnis ist der mittlere Wert der Rückfederung, der weitgehend von der Streuung der Prozessparameter unabhängig ist. Er lässt sich vor allem durch die geometrische Kompensation des Umformwerkzeugs beeinflussen. Der mittlere Wert der Rückfederung ist somit der Ausgangspunkt für die im nächsten Arbeitsschritt erfolgende Kompensation.

**Kompensierte Werkzeugform ist Basis des nächsten Schrittes**

Wie anhand der Sigma-Analyse aufgezeigt wurde, lässt sich in diesem Beispiel die Maßhaltigkeit des Bauteils und damit das Einhalten der geforderten Toleranzen vor allem durch eine geometrische Kompensation des Werkzeugs sicherstellen. Dazu werden drei unterschiedliche Bereiche innerhalb des Werkzeugs definiert: erstens der Bereich des Bauteils, der direkt kompensiert werden soll, zweitens der

Blechhalterbereich, der unverändert bleiben soll, und drittens ein Übergangsbereich, der der Ankonstruktion entspricht. Falls die Wirkflächen mit der Software »AutoForm« erzeugt worden sind, geschieht die Zuweisung automatisch. Die Kompensation der Wirkflächen erfolgt im ersten Ansatz umgekehrt zur Aufsprungrichtung analog zur Größe des Aufsprungs. Die eigentliche Kompensation kann durch einen frei wählbaren Multiplikationsfaktor bestimmt werden. Die Berechnung der Kompensation erfolgt mit einem effizienten Algorithmus, was sich sowohl in der Geschwindigkeit als auch in der Oberflächenqualität widerspiegelt. Die kompensierte Werkzeuggeometrie wird schließlich automatisch als Ausgangswerkzeug für die nächste Simulation bereitgestellt. Nach zwei Kompensationsläufen liegt ein Rückfederungsergebnis innerhalb der geforderten Toleranz vor. Abschließend ermöglicht die enge Kopplung zwischen Simulationssoftware und gebräuchlichen CAD-Systemen mittels entsprechender Schnittstellen eine schnelle Wirkflächenkonstruktion bis zur Erzeugung der Fräsdaten. Die Softwarelösung zur Kompensation der Rückfederung ermöglicht es also, schon während der Entwicklungsphase die Werkzeuggeometrie im Hinblick auf toleranzhaltige Bauteile anzupas-



**Definitionsfrage:** Um die Toleranzen einhalten zu können, ist eine geometrische Kompensation des Werkzeugs nötig. Dazu werden Kompensationszonen festgelegt

sen. Der gesamte Prozess der Werkzeugherstellung – von der Entwicklung über die Arbeitsplanung und die Herstellung bis hin zur Erprobung der Werkzeuge – benötigt weniger Zeit und Kosten als bisher. Wird die Rückfederung heute typischerweise inner-



**Eindeutig:** Bauteilgeometrie (rot) und Referenzgeometrie (grün) vor (links) und nach der Rückfederungskompensation

halb mehrerer realer Tryout-Schleifen kompensiert, so lässt sich nun durch virtuelle Tryout-Schleifen während Methodenplanung und Werkzeugkonstruktion ein großer Zeit- und damit Kostenvorteil erzielen. Des Weiteren wird der Werkzeugbau damit in die

Lage versetzt, die für den Werkzeugbau typische Einstückfertigung hinsichtlich Kapazität und Logistik treffsicherer zu planen als bisher und somit einen weiteren Anstieg an Durchsatz und Produktivität zu erzielen. ■

**THOMAS BRENNE**

AutoForm Engineering Deutschland GmbH,  
Dortmund

**Dr. MARKUS THOMMA**

AutoForm Engineering GmbH, Zürich/Schweiz  
www.autoform.com

© Carl Hanser Verlag, München 2006. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe dieses Sonderdrucks und der Übersetzung behält sich der Verlag vor.

## Software-Lösungen für die Blechumformung

**AutoForm Company Offices**

Switzerland	Zurich	+41 43 444 61 61	info@autoform.ch
Germany	Dortmund	+49 231 9742 320	info@autoform.de
The Netherlands	Krimpen a/d IJssel	+31 180 668 255	info@autoform.nl
France	Aix-en-Provence	+33 4 42 90 42 60	info@autoform.fr
Spain	Barcelona	+34 93 320 84 22	info@autoform.es
Italy	Moncalieri (TO)	+39 011 620 41 11	info@autoform.it
USA	Troy, MI	+1 888 428 8636	info@autoform.com
Mexico	Monterrey	01800 821 2313	info@autoform.com.mx
India	Hyderabad	+91 40 668 48636	info@autoform.in
China	Shanghai	+86 21 58 77 66 26	info@autoform.com.cn
Korea	Seoul	+82 2 2113 0770	info@autoformkorea.co.kr

**AUTOFORM**  
Forming Reality

www.autoform.com