

Software für die Simulation von Rückfederungsvorgängen beim Blechumformen

## Rückfederung im Griff

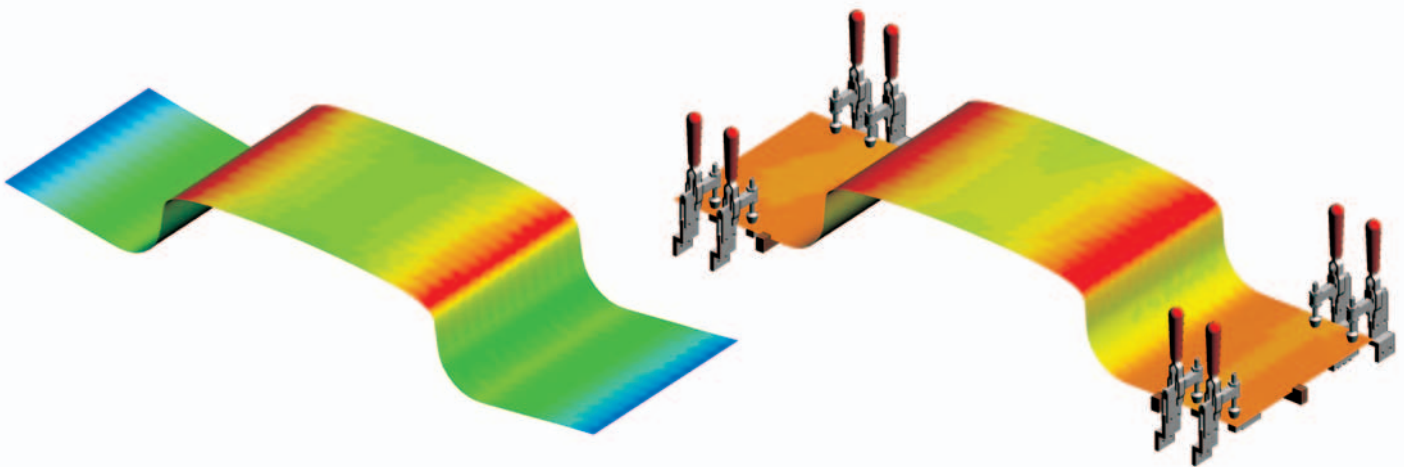
**Die Rückfederung ist eine Knacknuss bei Blechumformprozessen. Damit die Bauteile nach Bearbeitung die gewünschte Geometrie zeigen, muss das Rücksprungverhalten des Blechs in den Werkzeugen kompensiert werden. Mit numerischen Methoden entwickelt der im Automobilbau führende CAE-Spezialist AutoForm mit Unterstützung der Förderagentur für Innovation (KTI) eine Software, die Rückfederungsvorgänge simuliert, das bisher aufwändige «trial-and-error» reduziert und so Zeit und Kosten einspart.**

**B**leche können einen Umformer ganz schön ins Schwitzen bringen, denn sie speichern im plastischen Formgebungsprozess elastische Energie. Entfernt er das Blech vom Formgebenden Werkzeug, bewirkt die gespeicherte Energie eine Rückfederung. Diese reduziert das energetische Niveau und resultiert in einer Abweichung von der gewünschten Form. Doch damit nicht genug, denn schneidet er das Bauteil nach Formgebung auf die nötige Dimension, kann es nochmals zu einer Rückfederung kommen, welche die Form erneut verändert. Wie stark diese Rückfederung ist, bestimmen E-Modul und Fließspannung des Blechwerkstoffs. So fällt sie bei hochfesten Stählen mit hoher Fließspannung wesentlich höher aus als bei weichen Stählen. Der amerikanische Umformexperte Stuart Keeler bringt es auf den Punkt: «Springback is like the weather: It happens every day, is highly visible, may be predictable, is rarely understood and picks the worst time to act up.»

### Knacknuss Rückfederungssimulation

Rückfederungsbedingte Formveränderungen liessen sich bisher wegen der komplexen Formänderungs- und Spannungsverhältnisse der Bleche nicht präzise voraussagen, da eine genaue analytische Berechnung unmöglich war. In der Vergangenheit hiess dies für den Umformer, sich auf Grund seiner Erfahrung sowie mit zeit- und kostenintensiven Iterationschleifen an die nötige Form heranzutasten. Zwar greift er für die Auslegung des Umformprozesses schon standardmässig auf die Simulation zurück, aber in der Automobilindustrie konzentrierte man sich primär auf denjenigen Umformprozess, bei dem die stärksten Formänderungen auftreten. Die Simulation der Rückfederung und die rechnergestützte Kompensation stecken dagegen noch in den Kinderschuhen.

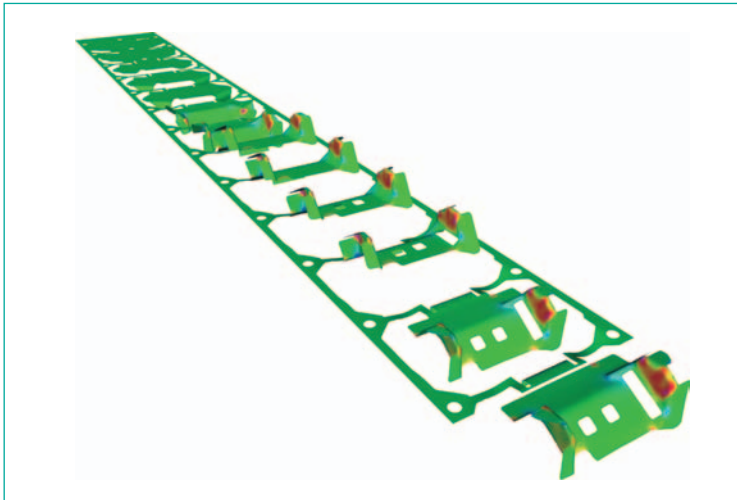
Weltweit führend in Software für Werkzeugkonstruktion und für die Simulation von Blechumformprozessen ist die AutoForm Engineering GmbH.



#### Autorin

Elsbeth Heinzlmann, Journalistin  
Technik und Wissenschaft, Basel

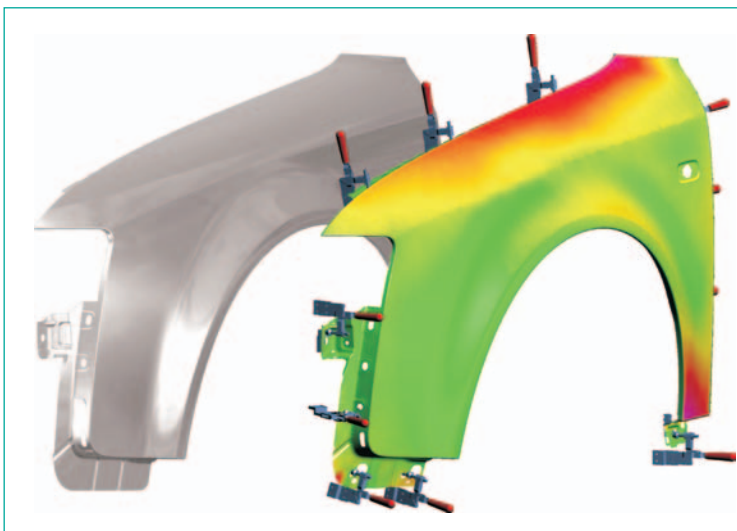
**Rückfederungsanalyse bei einem einfachen Bauteil. Farblich dargestellt ist die Normalenabweichung der Bauteilgeometrie von der Referenzgeometrie (Sollgeometrie). Man unterscheidet zwischen «freier Rückfederung» (links) und «Rückfederung im eingespannten Zustand» (rechts). (Bild: AutoForm)**



**Biegeeffekte, wie sie bei diesem in der Folgeverbundtechnik hergestellten Blechteil vorkommen, lassen sich am besten mit dem Schalenelement simulieren. (Bild: AutoForm, mit freundlicher Genehmigung von Werkzeugbau Laichingen)**

Das Spin-off der ETH Zürich wurde im Jahr 1995 von ETH-Maschinenbauingenieur Dr. Waldemar Kubli gegründet und ist seither auf Erfolgskurs. An die 400 Erstausrüster und Zulieferer rund um den Erdball nutzen die Software aus dem Zürcher Technopark in Machbarkeitsanalyse, Methodenplanung und virtueller Prozessoptimierung. In der Automobilindustrie hilft die numerische Simulation von AutoForm, die Umformbarkeit eines Bauteils bereits während der Produkt- oder Werkzeugentwicklung zu prüfen.

Das Instrument der Wahl ist AutoForm-Incremental, eine hoch spezialisierte Simulations-Software für die optimierte Auslegung von Blechumformprozessen und Umformwerkzeugen mit komplexen Geometrien, besonders für Tiefziehenanwendungen in der Automobilbranche und der Blech verarbeitenden Industrie. «Der Vorteil ist die Entkopplung der Gleichgewichtsgleichungen während des Umformprozesses, wodurch die im traditionellen Karosseriebau durchgeführten Simulationen in wenigen Stunden



**Rückfederungsanalyse während der Prozessauslegung für einen Kotflügel. Farblich dargestellt ist die Normalenabweichung des Blechteils von der Referenzgeometrie im eingespannten - montierten - Zustand. (Bild: AutoForm, mit freundlicher Genehmigung von Audi)**

# BESSER AUF DRAHT!



## EFFIZIENT UND GÜNSTIG

Unser Drahtbiegecenter FMU2.7-FMU4 der neusten Generation verbindet modernste Technologie mit unserer langjährigen Erfahrung.

Diese überragende Kombination zwischen Know-How und Technik macht uns zum flexiblen Anbieter von Klein- und Grossserien in den Drahtstärken 0.5 mm – 4.0 mm.

Dürfen wir auch für Sie auf Draht sein?

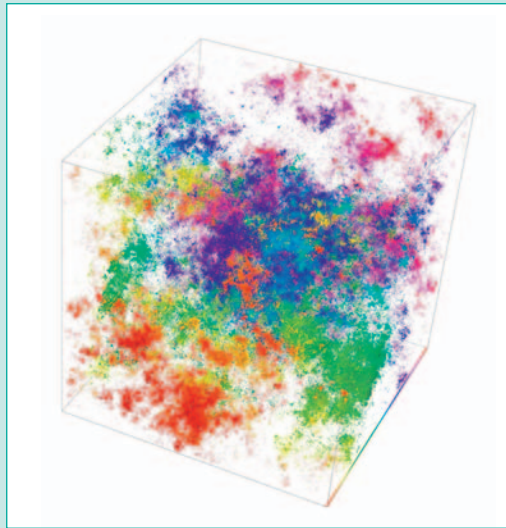


**THUR**.co

Riedwiesenstrasse 16-18  
Industrie - Aegert • CH-8305 Dietikon  
Tel. 044/807 44 11 • Fax 044/807 44 00  
E-Mail: info@thuer-co.ch • www.thuer-co.ch

## Weltrekord der Gitterpunkte

Ende Juli 2006 hatte IBM wieder einmal die Nase vorn mit den zwei leistungsstärksten Rechnern der Welt: rund vier Mio. TPC-C Transaktionen pro Minute. Zum Einsatz kam erstmals Dual Stress, eine Prozessortechnologie, die bis zu 24% höhere Transistorgeschwindigkeiten ermöglicht und bei der die Simulation und Modellierung der Halbleiterphysik eine grosse Rolle spielen. Doch oft scheitern diese komplexen Simulationen – mangels geeigneter Algorithmen und Software – zur realistischen Untersuchung von dreidimensionalen Strukturen. Ein Beispiel dafür ist die Simulation des so genannten Anderson-Modells, das für die Modellbeschreibung des Elektronentransports in ungeordneten Systemen dient. Dieses bereitet Physikern rund um den Erdball Kopfzerbrechen, wäre jedoch von höchstem Interesse für die Erforschung von Halbleitern, Legierungen sowie in der DNA-Analyse.



Eine Pionierleistung dank interdisziplinärer Zusammenarbeit gelang Dr. Olaf Schenk von der Universität Basel, Professor Matthias Bollhöfer, Mathematiker an der TU Berlin und PD Dr. Rudolf A. Römer, Physiker an der University of Warwick. Sie entwickelten Methoden, um die Quantenphysik der Leitfähigkeit von Elektronen im so genannten Anderson-Modell zu berechnen. Gemeinsam entstand ein Regelwerk von Formeln und Gleichungen, die sie mit einer am Basler Informatikdepartement und der TU Berlin realisierten Software auswerteten. Damit war es ihnen möglich, die Verteilung eines Elektrons auf 42 Mio. Atompositionen, also Gitterpunkte zu berechnen – ein absolutes Novum, lag doch der bisherige Rekord nur bei rund einer Mio. Atompositionen. Zwar benötigte der Hochleistungsrechner an der Universität Warwick trotzdem 88 Gigabyte an Hauptspeicher und volle drei Tage Rechenzeit. Doch zeigten die im KTI-Projekt entwickelten Algorithmen, dass sie sich für die Berechnung sehr grosser komplexer Modelle eignen. Ebenso können sie in anderen Forschungsgebieten der rechnergestützten Medizin und der Naturwissenschaften – aber auch der Berechnung der Rückfederung im Blechumformprozess – neue Erkenntnisse zur Erforschung komplexer Sachverhalte erschliessen.

**Das Bild zeigt die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines einzelnen Elektrons, wobei die Farben hier der räumlichen Visualisierung dienen. (Bild: Uni Basel)**

möglich sind», erklärt Dr. Markus Thomma, Director of Marketing bei AutoForm. Doch erfordern Rückfederungseffekte und neue Werkstoffe wie Aluminiumlegierungen die Lösung gekoppelter Gleichgewichtsgleichungen. Dazu kamen bisher parallele direkte Gleichungslöser zum Einsatz, womit die Simulation bis 10 Tage und mehr pro Simulationsaufgabe dauern konnte. «Die Integration gekoppelter Gleichgewichtsgleichungen erfordert das Lösen grosser linearer Gleichungssysteme, mit über 1 Mio. Unbekannten», so Markus Thomma. «Dementsprechend bewirkt der Übergang von der entkoppelten zur gekoppelten Lösung eine gewaltige Zunahme an Speicherplatz und Rechenzeit pro Simulationsjob, in der Grössenordnung von Faktor 100.»

## Informatik und Mathematik als Helfer

Den AutoForm-Entwicklungsingenieuren war klar: Die Rechenzeit der Simulationen liess sich nur mit effizienten, innovativen Algorithmen für diese anspruchsvolle Computeranwendung reduzieren. Sie kontaktierten die Informatiker der Universität Basel, wo Dr. Olaf Schenk für seine

Forschungsschwerpunkte Algorithm Engineering und Simulation und Modellierung komplexer Systeme bekannt ist. Dieses Forschungsgebiet stellt eine Methodik der Algorithmenforschung dar, bei welcher Entwurf, Analyse, Implementierung und Rechner gestützte Experimente einen eng gekoppelten Kreislauf bilden. Der Forscher hatte im Jahr 2000 an der ETH Zürich promoviert und sich schon dort – unterstützt durch die KTI, die Förderagentur für Innovation – mit der Lösung linearer Gleichungssysteme befasst. Aus den Arbeiten resultierte der Gleichungslöser PAR-DISO. Dieser nimmt heute betreffend Rechenzeit und Speed-up auf Parallelrechnern international eine Spitzenstellung ein und wurde mittlerweile von Computerfirmen wie Intel für mathematische Bibliotheken lizenziert.

Es lag darum nahe, dass das Basler Departement Informatik unter der Leitung von Professor Helmar Burkhardt wiederum die KTI um Hilfe bat für einen neuen Entwicklungsschritt. Dieser bestand darin, die Effizienz existierender direkter Gleichungslöser zu nutzen, jedoch deren Nachteile wie Komplexität und hohe Opera-

tionszahl zu umgehen. Gleichzeitig sollte ein neues implizites Schalenelement erarbeitet werden. Dies macht Sinn, hängt doch die Wahl des Gleichungslösers auch von der Elementformulierung ab.

Als Grundlage dafür mussten die Forscher Algorithmen zur parallelen Lösung dünn besetzter linearer Gleichungssysteme entwickeln. Im Vordergrund standen Systeme der Umformtechnologie, die beispielsweise in der impliziten Finite Elemente-Formulierung der Gleichgewichtsgleichungen im Blechumformungsprozess auftreten. Vernachlässigt man dynamische Effekte bei der impliziten Formulierung, entstehen lineare Systeme, die nicht positiv definiert und daher schwierig zu lösen sind. Neue Algorithmen versprechen Erfolg, wenn sie auf dem Verständnis der physikalischen Prozesse der Umformtechnologie, der mathematischen Analyse der Modellgleichungen und der numerischen Mathematik beruhen. «Unser Ziel war, neue, parallele algebraische Multilevel-Vorkonditionierungen und Block-Zerlegungen für lineare Gleichungssysteme zu kombinieren», erklärt Dr. Olaf Schenk, der das KTI-Projekt leitet.

«Solche Verfahren sind im Vergleich zu direkten Gleichungslösern weniger kompliziert und damit für grosse industrielle Finite Elemente-Simulationen besser geeignet.» Die numerischen Methoden sollten erstmals in der Strukturmechanik angewendet und die entwickelte Software in die Simulationsumgebung von AutoForm integriert werden.

Eine enge Kooperation verbindet das Informatikerteam von Dr. Olaf Schenk mit den Kollegen des Instituts für Mathematik. Der dortige Professor für Numerik und rechnergestützte Mathematik, Marcus Grote, ist Experte für iterative Verfahren, hat als einer der Ersten das iterative Gleichungslösungsverfahren SPAI (Sparse Approximate Inverse) popularisiert. Da beide Forscher seit Jahren an der Entwicklung und Implementierung robuster numerischer Algorithmen arbeiten, beispielsweise zur Lösung linearer Gleichungssysteme, profitierte das Projekt stark vom Know-how der Wissenschaftler.

### Robustheit des Prozesses sicherstellen

Inzwischen sind die Projektarbeiten abgeschlossen und die Resultate in die Version 4.0 der AutoForm-Software eingeflossen, die nun eine genaue Simulation der Rückfederung erlaubt. Aber es sind noch weitere Voraussetzungen zu erfüllen, damit sich – basierend auf den Simulationsergebnissen – die Kompensation der Rückfederung im industriellen Alltag umsetzen lässt. So interessiert typischerweise die Masshaltigkeit des fertigen Umformteils und nicht diejenige einer Zwischenstufe, beispielsweise der Ziehstufe. Der gesamte Umformprozess einschliesslich aller Folgeoperationen wie zum Beschneiden oder Abkanten muss im Computer effizient abgebildet und anschliessend simuliert werden können. Markus Thomma: «Die Robustheit des Prozesses muss gewährleistet sein. Denn es zeigt sich heute in der Praxis, dass trotz kompensierter Werkzeuge Massabweichungen am Bauteil festzustellen sind. Oft liegt die Ursache dafür in nicht robusten Prozessen, die gegenüber streuenden Parametern wie Materialeigenschaften, Blechhalterkraft oder Schmierung sehr anfällig sind.»

AutoForm schafft mit ihrer neuen Software-Version auch hier Abhilfe. Mit dem Modul AutoForm-Sigma lassen sich Prozesse hinsichtlich ihrer Stabilität gegenüber Streugrössen untersuchen und bieten dem Benutzer die Möglichkeit, entsprechende Gegenmassnahmen zu definieren. Erste praktische Tests zur simulationsbasierten Rückfederungskompensation bei Kunden zeigen positive Ergebnisse.

### Neues rechnergestütztes Tool in Arbeit

«Um die Rückfederung zu kompensieren, gehen heute in der Werkzeugbearbeitung für komplexe Umformteile einige Monate verloren», stellt Markus Thomma fest. «Nur wenn Simulation und Kompensation der Rückfederung im Entstehungsprozess komplexer Karosserieteile integriert sind und zur Optimierung des gesamten Umformprozesses eingesetzt werden können, lassen sich die Entwicklungs- und Fertigungszeiten bei Umformwerkzeugen signifikant herabsetzen.»

Aber die Erstellung des Simulationsmodells muss einfach und die Rechenzeiten müssen kurz sein, wie dies mit den Software-Lösungen von AutoForm der Fall ist. Bereits brüten die AutoForm-Entwicklungsingenieure über einem neuen Geistesblitz, einem rechnergestützten Tool, das die Werkzeugkosten in der Angebotsphase möglichst genau kalkuliert.

Wir können gespannt sein: Die AutoForm-Crew bleibt mit Innovation am Ball.

Das vorliegende Projekt wurde von der KTI, der Förderagentur für Innovation, unterstützt [www.kti-cti.ch](http://www.kti-cti.ch)

#### Infos

AutoForm Engineering GmbH  
8005 Zürich  
043 444 61 61  
[www.autoform.com](http://www.autoform.com)

Departement Informatik  
der Universität Basel  
4056 Basel  
061 267 14 65  
[olaf.schenk@unibas.ch](mailto:olaf.schenk@unibas.ch)  
<http://fgb.informatik.unibas.ch>



# Motion Tuning

Motion Tuning – Das neue Mechanisierungskonzept bringt Ihre Presse auf die Überholspur.

**PressTuning**<sup>®</sup>  
by Müller Weingarten

**Kommen Sie zum Boxenstopp für mehr Performance!**

**EuroBLECH Hannover**  
24.–28.10.2006  
Halle 27, Stand F 23