

## KONZEPT ZUR DURCHGÄNGIGEN MODELLIERUNG VON UMFORMPROZESSEN VON NEUARTIGEN STÄHLEN – SIMULATION MIT VERSUCHSVERIFIKATION

*Bettina Goering, Frank Rieg*

### Zusammenfassung

Immer leichtere Fahrzeuge mit erhöhter passiver Sicherheit für Passagiere werden von den Käufern der Automobile wie auch von der Politik gefordert. Dazu werden im Karosserie- und Strukturteilbau in der Automobilindustrie Tiefziehbleche mit sehr hoher Bruchdehnung und gleichzeitig niedriger Zugfestigkeit, ebenso eingesetzt wie auch hoch- und höherfeste Stahlbleche.

Ein wirkliches Leichtbaupotenzial zeigen jedoch nur diese hoch- und höherfesten Stähle, mit einer Zugfestigkeit bis  $1450 \text{ N/mm}^2$  und einer reduzierten Bruchdehnung von maximal 30%. Die Umformbarkeit ist jedoch bei diesen Stählen sehr begrenzt, weswegen Ihr Einsatz häufig aufgrund funktionsbedingt erforderlicher Umformgrade nicht möglich ist. Einfachere Bauteile werden dagegen mittlerweile durch verbesserte Pressenkonzepte auch aus diesen hoch- und höherfesten Materialien hergestellt.

Als ein für diese Stähle geeignetes Produktionsverfahren von Bauteilen mit höheren Umformgraden hat sich das hydromechanische Tiefziehen erwiesen. Vor allem durch den Vorteil des Übertragens höherer Kräfte in die Umformzone lassen sich Bauteile bereits im Erstzug herstellen. Durch die Kostenreduktion durch Einsparung der Matrize und die Bauteilherstellung mit verringerter Anzahl an Ziehvorgängen stellt dieses Verfahren einen weiteren Vorteil dar.

Da diese hoch- und höherfesten Stahlbleche immer noch in der Entwicklung bei den Herstellern sind und auch das Produktionsverfahren bisher nur wenig im Einsatz ist, gibt es bisher kaum Erfahrung zur Herstellung komplexerer Bauteile mit dieser Methode vor allem aus hochfesten Stählen. Auch die Umformsimulation von hydromechanisch umgeformten hochfesten Stahlblechen ist derzeit aufgrund der noch sehr jungen Technik noch nicht Standard.

Dieser Beitrag soll den Abgleich von Simulationsergebnissen mit real durchgeführten Versuchen anhand von Bauteilen aus dem Automobilbereich zeigen. Des Weiteren werden die durch die Simulation optimierten Umformparameter und die damit reduzierbare Versuchszahl wie auch die Vorhersage von Problemen bei der Umformung werden aufgezeigt.

### 1 Einleitung

Im Automobilbau ist Stahl der am meisten eingesetzte Werkstoff. Aufgrund des Leichtbautrends in der Karosserie ist ein Umdenken bei den Entwicklern und Konstrukteuren nicht zu vernachlässigen. Die Forderung nach immer leichteren, aber dennoch immer crashsicheren Strukturen verlangt eine Veränderung im Automobilbau. Durch den Einsatz neuer Stähle, die hohe Streckgrenzen und Zugfestigkeiten aufweisen, kann die Blechdicke reduziert werden. Ein großer Nachteil dieser neuen Stahlsorten ist die Reduzierung der Bruchdehnung, dadurch sind komplizierte Umformprozesse nur schwierig oder gar nicht durchzuführen.

In verschiedenen Forschungsprojekten wird der Einsatz neuartiger Stähle im Automobilbau untersucht [1]. Ein Beispiel ist das Projekt NewSteelBody von ThyssenKrupp Steel. Ein Ziel dieses Projektes war es, die Festigkeit der Fahrzeuge zu erhöhen, dabei aber die Blechdicke und damit auch das Gewicht der Karosserie zu reduzieren. Bild 1 zeigt die mögliche Zusammensetzung einer Autokarosserie mit neuen Stählen.

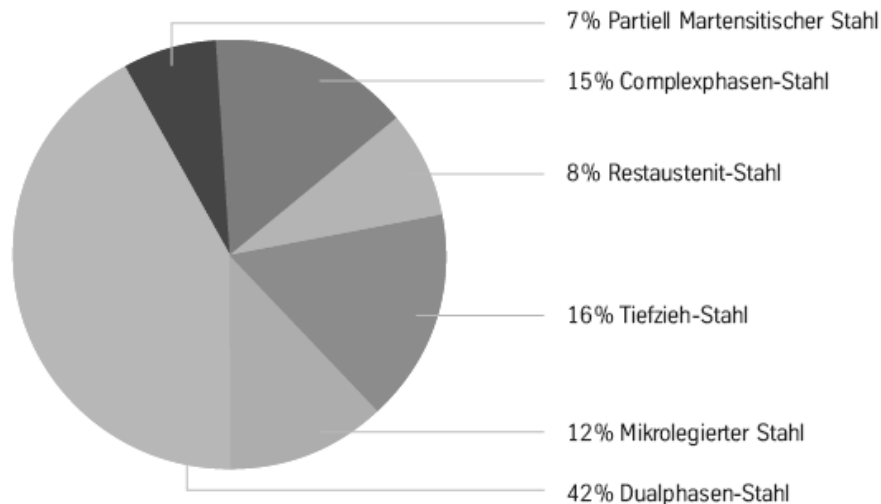


Bild 1: Bedarfsgerechter Einsatz hochwertiger Stahlprodukte von ThyssenKrupp Stahl (Aufteilung nach Gewicht) [1]

Durch die Verwendung der hochwertigen Stähle ist in einem Kompakt-Van, der hier untersucht wurde, im Gegensatz zur Referenzstruktur eine Gewichtersparnis der Tragstruktur von 24% oder 77kg erzielt worden. Die Crasheigenschaften waren nur in einem Fall schlechter, in einigen Fällen sogar deutlich besser im Vergleich zur Referenzstruktur.

Zur Herstellung der Bauteile sind jedoch neue Verfahren notwendig. So werden Tailored Blanks umgeformt, was mittlerweile schon Stand der Technik ist. Ebenso wurden im Beispiel des NewSteelBody 24% der Bauteile im IHU (Innenhochdruckumformen)-Verfahren hergestellt. [1]

Ein weiteres Verfahren, welches für den Einsatz mit hoch- oder höchstfesten Stählen geeignet ist, ist das hydromechanische Tiefziehen, auch Aussenhochdruckumformen bezeichnet. Durch den Einsatz dieses neuen Verfahrens muss die computergestützte Konstruktion mit Stählen neu diskutiert werden, einerseits müssen die bisher verwendeten Materialmodelle überprüft werden, andererseits die Elemente, welche für die Umformsimulation zwar entwickelt wurden, nicht jedoch für das Verfahren des hydromechanischen Tiefziehens.

## 2 Simulation von Stahlblechen – Stand der Technik?

Die Konstruktion von Blechteilen und die Herstellung von Bauteilen aus Stahlblechen durch Umformung erfolgt seit einigen Jahren bereits mit Computerunterstützung. Die FEA (Finite-Elemente-Analyse) ist mittlerweile Stand der Technik bei der Auslegung der Bauteile. Der Einsatz unterschiedlichster Analysen zur Auslegung ist mit unterschiedlich großem Aufwand verbunden. Darüber hinaus ist die Interpretation der Analysen und deren Ergebnissen sehr schwierig durch das ausgeprägte nichtlineare Materialverhalten. Verschiedenste Materialmodelle (Hill, Barlat, usw.) und unterschiedliche Berechnungsalgorithmen (implizit oder explizit) versprechen dieses Materialverhalten hinreichend zu charakterisieren, allerdings sind dabei eine Fülle von vorhandenen Materialkennwerten und eine tief reichende Kenntnis der

FEA vorausgesetzt. Daher bestimmt nicht zuletzt der Beschaffungsaufwand der Materialeigenschaften den Einsatz der Finite-Elemente-Methode.

Aus dieser Problematik heraus hat sich die Entwicklung von Bauteilen mittels **ICROS** (Intelligent **CRO**ss-linked **S**imulations) entwickelt und wird nachfolgend anhand einer Bauteilfallstudie erläutert.

Die Methode besteht darin, die vorhandenen Simulationsprogramme gezielt zu verwenden, die notwendigen Simulationsparameter bereitzustellen und zielgerichtet den Ablauf der Programme zu steuern [2]. In Bild 2 wird die optimale Vorgehensweise bei der Umformsimulation von Blechbauteilen dargestellt.

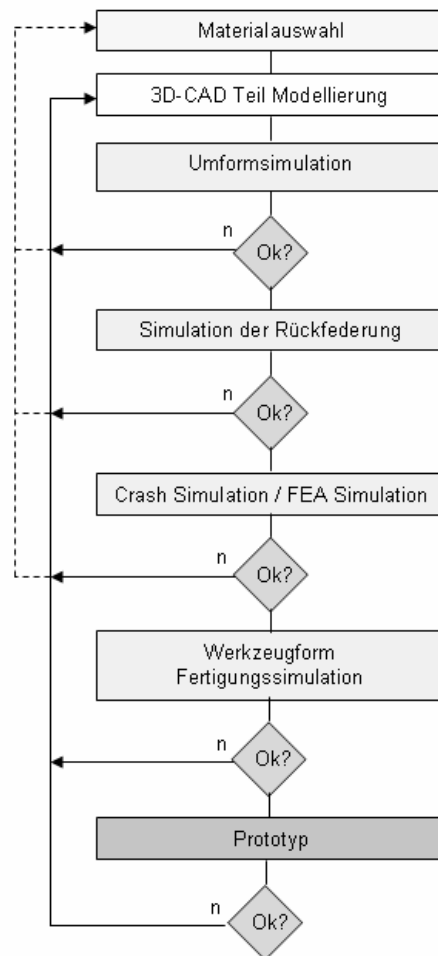


Bild 2: Vorgehensweise bei der Verwendung von ICROS bei Blechumformprozessen

Deutlich zu erkennen ist die Kopplung der Bauteilgestaltung an die Umformsimulation und die weiter folgenden Simulationen. Durch die Übernahme der Materialdaten in die später folgenden Simulationen ist die Auswahl des Materials von besonderer Bedeutung. Des Weiteren muss im Vorhinein geprüft werden, ob ein ausgewähltes Material die Umformung und im späteren Verlauf ebenso trotz ihrer veränderten Materialeigenschaften durch die Umformung eine dynamische oder eine statische Belastung aushält.

### 3 Fallstudie Federbeinstütze

#### 3.1 Bauteil

Die Federbeinstütze der Firma BMW AG ist ein Versuchmodell zur Anwendung mit hoch- und höherfesten Stählen. Besonderheit an diesem Modell ist die Möglichkeit des Einsatzes zum hydromechanischen Tiefziehen, zusätzlich ist am Boden des Wasserkastens ein Einsatz zum Prägen des Bauteilbodens angebracht. Außerdem ist dieses Bauteil konisch zulaufend, was normalerweise einen mehrstufigen Umformprozess voraussetzt.

#### 3.2 Verfahren des hydromechanischen Tiefziehens

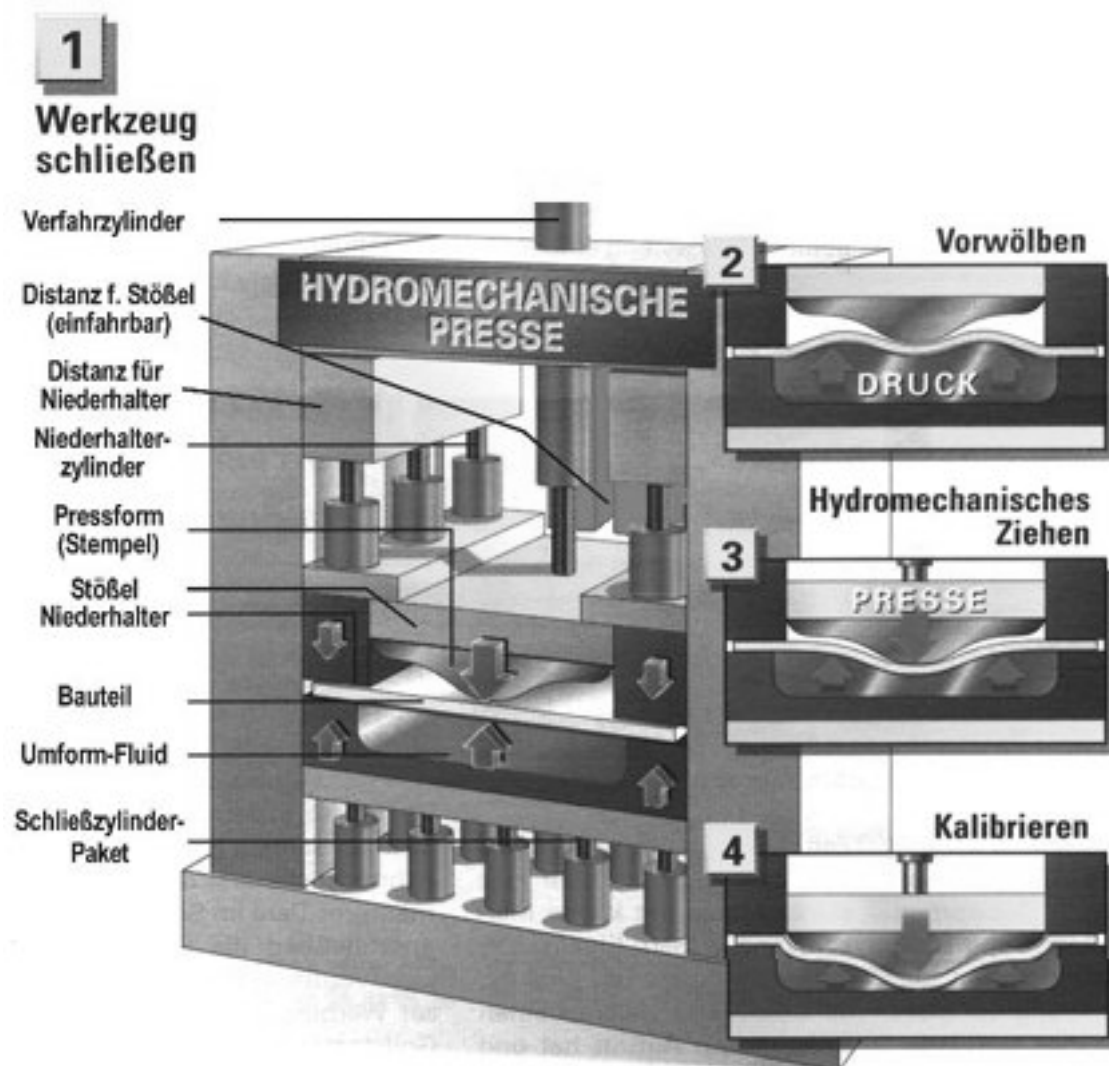


Bild 3: Prinzip des hydromechanischen Tiefziehens [Schnupp GmbH & Co Hydraulik KG]

Bild 3 zeigt das Prinzip des hydromechanischen Tiefziehens. Die Besonderheit dieses Verfahrens ist der Einsatz eines Wasserkastens anstelle einer Matrize, die durch Aufbringen eines Druckes die Funktion der Matrize übernimmt.

### 3.3 Material

Das verwendete Material ist ein hochfester Complexphasenstahl der Firma ThyssenKrupp Steel mit einer Zugfestigkeit von 800 N/mm<sup>2</sup> und einer Mindestbruchdehnung A<sub>5</sub> von 12 %. Die verwendete Blechdicke ist 2,25 mm.

### 3.4 Umformsimulation / Rückfederungsberechnung

Umformsimulationen von Blechbauteilen im Automobilbereich mit konventionellen Verfahren sind bereits Stand der Technik, dennoch gibt es im Bereich der Umformsimulation durch wirkmedienbasierte Umformung große Defizite bezüglich der Ergebnisgenauigkeiten und Übereinstimmungen mit der Realität. Aufgrund der noch relativ jungen Technologie des Hydromechanischen Tiefziehens, verglichen mit dem konventionellen Tiefziehen, „existiert nur sehr wenig theoretisches und praktisches Wissen über den Prozess und die damit erreichbaren Bauteileigenschaften.“ [3]. Besonders wird dies bei der Rückfederungsberechnung von hoch- und höherfesten Materialien sichtbar. Umformsimulation und Rückfederungsberechnung wird oftmals in einem gemeinsamen Simulationszyklus, im Gegensatz zu der in Bild 2 beschriebenen Vorgehensweise, durchgeführt.

In dem hier behandelten Fall wurde die Umformung der Federbeinstütze durch hydromechanisches Tiefziehen mit dem Programm PAM-STAMP 2G (V2005) simuliert. Zuerst wurde eine Simulation mit einem bereits vorhandenen Tiefziehmaterial St14 durchgeführt. Nach Optimierung der Parameter wurde die in Bild 4 gestrichelte Linie für den Verlauf des Wirkmediendruckes erzeugt.

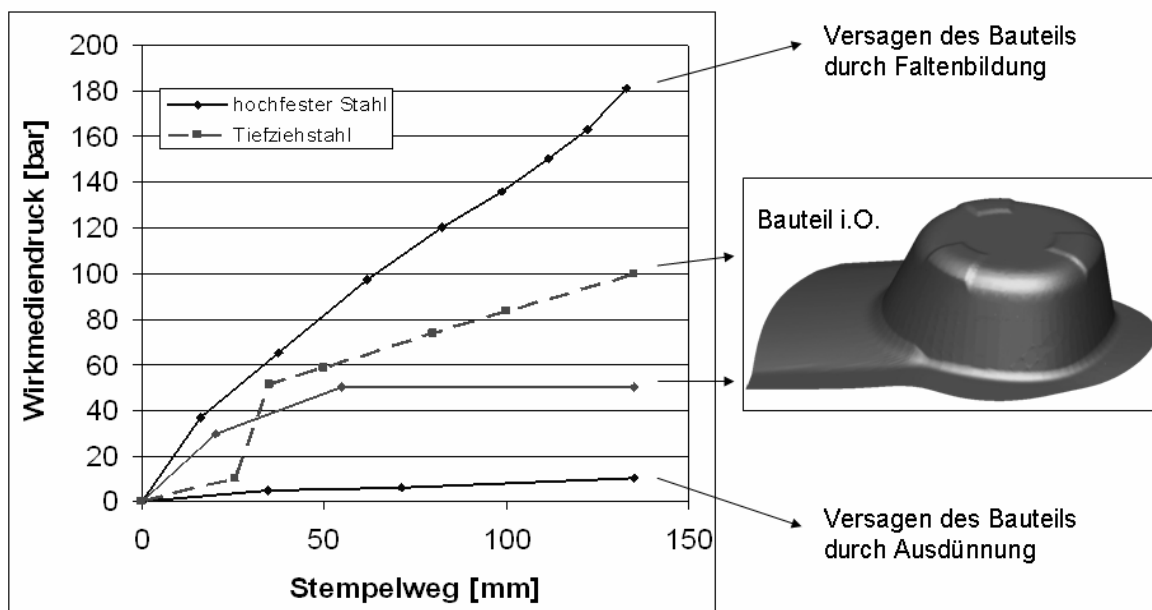


Bild 4: Einfluss des Wirkmediendruckverlaufs auf das Umformergebnis

In Bild 4 ist außerdem die durch Simulation optimierte Wirkmediendruckkurve für den hochfesten Stahl zu erkennen (durchgezogene Linie), mit der die Bauteile in der Realität später umgeformt wurden. Durch einen zu hohen oder zu niedrigen Wirkmediendruckverlauf kommt es zu Riss- oder Faltenbildung im Bauteil.

Ebenso wurde in der Simulation eine Optimierung des Platinenzuschnittes vorgenommen, so konnten sowohl Reißen als auch Falten reduziert werden, wobei die eigentlich tragenden

Elemente, die für den späteren Einsatz notwendig sind vorhanden blieben. Ein weiterer Parameter der in dieser Simulation untersucht wurde ist die Einlegeposition des Bleches. Auch diese wurde soweit als möglich aus der Simulation auf die spätere Versuchverifikation übertragen.

Die Rückfederungsberechnung wurde mit den aus der Umformung übernommenen Materialdaten durchgeführt und im späteren mit den in Versuchen hergestellten Federbeinstützen verglichen, was zu keinem nennenswerten Unterschied führte.

### **3.5 Crashsimulation / FEA-Simulation**

FEA-Simulation an dünnen Blechbauteilen ist ein umfangreiches und noch nicht vollständig erforschtes Gebiet. Zum einen gibt es unzählige Schalenmodelle der Finiten Element, die für unterschiedlichste Spezialfälle in die einzelnen Programme eingebaut wurden, deren Ergebnisse aber nicht immer eindeutig sein können. Zum anderen ist die Frage nach dem eingesetzten Materialmodell weiterhin offen. Es gibt verschiedene Programme, mit denen es möglich ist, die Materialdaten aus der Umformung zu übernehmen. Eine weiterhin gängige Methode ist das Einsetzen der Materialmodelle von nicht umgeformten Blechen. Diese zuletzt beschriebene Methode liefert nur Anhaltswerte als Ergebnisse und muss als kritisch betrachtet werden.

Die eigentliche Crashsimulation von Bauteilen aus dem Automobilbereich wird des Öfteren durch Einsetzen des Bauteils in das Gesamtmodell der Karosserie durchgeführt. Es muss generell beachtet werden, dass Stellen, die im eigentlichen Bauteil hohe Kräfte aushalten müssen, nicht an besonders stark umgeformten Stellen im Bauteil vorgesehen werden.

## **4 Versuchsverifikation – Übereinstimmung mit Simulation?**

Die durchgeführten Simulationen können einen Einblick in die Leistungsfähigkeit der Berechnungsmethoden geben. Rissauftreten, Faltenbildung und Ausdünnung des Bleches geben Aufschlüsse über das Verhalten während der Umformung. Trotz allem können durch die Komplexität der Prozesse noch nicht alle Einflüsse durch Simulationen dargestellt werden.

Um Aussagen über die Umformung mittels Hydromechanischem Tiefziehen treffen zu können, ist die Durchführung von Tests gerade durch diese Komplexität unerlässlich. Die hier vorgestellte Federbeinstütze wurde auf einer 2500t- Kombi-Pressen der Firma Schnupp GmbH & Co Hydraulik KG umgeformt.

Die Federbeinstütze wurde sowohl mit dem Tiefziehstahl St14 als auch mit dem hochfesten Stahl CP-W 800 jeweils mit den in der Simulation optimierten Wirkmedien- und Niederhalterdruckverläufen hergestellt. Das Bauteil aus Tiefziehstahl konnte sehr leicht reproduziert werden und erwies sich als sehr robust gegenüber der Umformparameter. Die Variation der Einlegeposition führte zu keinerlei Ergebnisveränderung.

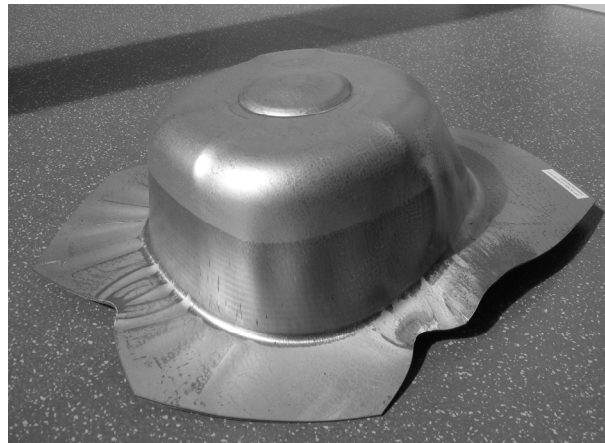


Bild 5: Hydromechanisch gezogene Federbeinstütze aus hochfestem Stahl CP-W 800

Bild 5 zeigt eine mit den für das Material CP-W 800 optimierten Parametern umgeformte Federbeinstütze. Der Ansatz zur Faltenbildung ist noch zu erkennen, wobei die Tendenz dazu in der Simulation bereits erkennbar war. Der Platinenzuschnitt ist bereits für diesen Versuch verändert worden. Ebenso zeigte die Position des umzuformenden Bleches deutliche Einflüsse auf das Ergebnis.

## 5 Schlussfolgerungen

Hoch- und höherfeste Stähle sind komplexe Materialien, welche durch ihre extrem nichtlinearen Materialeigenschaften immer eine Herausforderung an die computergestützte Konstruktion stellen. Durch den Einsatz von Simulationen und deren intelligenter Vernetzung kann die Anzahl an Prototypen reduziert werden. Schwachstellen in der Konstruktion können bereits in der Anfangsphase vor Bau eines kostspieligen Werkzeuges reduziert und vermieden werden. Trotzdem sind die Simulationen und deren Ergebnisse immer nur so genau wie die vorgegebenen Daten sind. Die Plausibilität der Ergebnisse muss immer wieder überprüft werden.

Die Prozesskette „Umformung – Rückfederung – Crashsimulation“ kann bereits im Computer gut abgebildet werden. Die Ergebnisse sind nicht immer realistisch. Dennoch ist eine Tendenz deutlich zu erkennen. Oftmals führen Simulationen mit bereits vorhandenen Materialien, ohne Eingabe und vorheriger Ermittlung der Kennwerte neuer Materialien, bereits abschätzbare Ergebnisse. Durch Verifikation anhand Prototypen konnten diese überprüft und nachvollzogen werden. So konnte innerhalb kürzester Zeit der Versuchsaufwand der Umformung reduziert werden und ein reproduzierbares Gutteil erzeugt werden.

Trotz der bisherigen Ergebnisse ist es wichtig, die bereits bestehenden Programme weiter auszubauen und neue Materialmodelle zu entwickeln. Auch die Schalenelemente, die derzeit verwendet werden, zeigen bereits gute Ergebnisse, welche aber für neuartige Materialien weiterentwickelt werden sollten.

## 6 Literatur

- [1] ThyssenKrupp Stahl: NSB NewSteelBody. Leichtbau mit Stahl. Für Automobile mit Zukunft. Sept. 2003
- [2] Alber, B., Hackenschmidt, R., Rieg, F.: Practical Use of CAE-Tools for High-Tech-Polymers - Product Design with Cross-linked Simulations and Experimental Verification. NAFEMS Seminar Virtual Testing, Wiesbaden, Mai 2006.

- [3] Aust, M.: Hydromechanisches Tiefziehen von Karosserieteilen. Diss. 2003
- [4] ESI Group: PAM-STAMP 2G 2005. User's Guide
- [5] Schuler GmbH: Handbuch der Umformtechnik
- [6] Lange, K.: Umformtechnik, Grundlagen. 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2002.
- [7] Rieg, F.; Hackenschmidt, R.: Finite Elemente Analyse für Ingenieure. Hanser-Verlag, München, 2003.

Dipl.-Ing. Bettina Goering  
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD  
Universität Bayreuth  
Universitätsstr. 30, D-95447 Bayreuth  
Tel: +49-921-55-7224  
Fax: +49-921-55-7195  
Email: [bettina.goering@uni-bayreuth.de](mailto:bettina.goering@uni-bayreuth.de)  
URL: <http://www.uni-bayreuth.de/departments/konstruktionslehre/>