

Ralph Stelzer · Karl-Heinrich Grote · Klaus Brökel  
Frank Rieg · Jörg Feldhusen (Hrsg.)

# **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN**

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung



**10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik  
KT2012 | Residenzschloss Dresden | 14.–15. Juni 2012**



Stelzer · Grote · Brökel · Rieg · Feldhusen (Hrsg.)

**ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN**

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung

10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik KT2012



Ralph Stelzer · Karl-Heinrich Grote · Klaus Brökel  
Frank Rieg · Jörg Feldhusen (Hrsg.)

# **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN**

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung

Entwickeln – Entwerfen – Erleben.  
Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung  
10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik (KT2012)

Herausgeber:

Prof. Dr. Ralph Stelzer (Technische Universität Dresden)  
Prof. Dr. Karl-Heinrich Grote (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg)  
Prof. Dr. Klaus Brökel (Universität Rostock)  
Prof. Dr. Frank Rieg (Universität Bayreuth)  
Prof. Dr. Jörg Feldhusen (RWTH Aachen)

Wir bedanken uns für die Unterstützung bei  
ma design, Tedata, Continental, xPLM, B.I.M. Consulting und Reiss Büromöbel

**ma design**  
//ENGINEERING

**Continental** 

**B.I.M.**  
onsulting

**TEDATA**

**xPLM**  
Solution

**REISS**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind  
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek  
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche  
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the  
Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 987-3-942710-80-0

© 2012 TUDpress  
Verlag der Wissenschaften GmbH  
Bergstr. 70 | D-01069 Dresden  
Tel.: 0351/47 96 97 20 | Fax: 0351/47 96 08 19  
<http://www.tudpress.de>

Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.  
Layout und Satz: Sandra Olbrich/Technische Universität Dresden.  
Umschlaggestaltung: TU Dresden, Illustration Audi A6 Limousine © 2012 Audi AG

# **CAE Methoden in der Einarbeitungsphase der Blechumformung**

## **1 Einleitung**

Um Kosten in der Produktentwicklung weiter zu minimieren und gleichzeitig die Qualität der zu fertigenden Produkte zu gewährleisten, nehmen virtuelle Methoden in der Produktentwicklung einen immer größeren Stellenwert ein (Stelzer & Eigner, 2009). An die Maßhaltigkeit von umgeformten Blechteilen werden ständig höhere Anforderungen gestellt. Die Ursachen für Maßabweichungen an gefertigten Blechteilen resultieren maßgeblich aus den Berechnungsmodellen, die das System Werkzeug-Blechteil-Umformmaschine bisher in der Virtuellen Produktentwicklung noch nicht vollständig und exakt abbilden können. Mehrere Zyklen händischer Änderungen an den Umformwerkzeugen sind heute noch die Regel. Dieser Prozess wird bei der Blechumformung als Einarbeitungsphase bezeichnet und wird von Spezialisten des Werkzeugbaus unter Nutzung von unscharfem Erfahrungswissen durchgeführt. Der Zyklus der manuellen Einarbeitungsphase im Bereich des Werkzeugbaus steht den wirtschaftlichen Forderungen zum schnelleren Serienanlauf und zur Kostensenkung entgegen. Hier kann die Verkürzung des Einarbeitungsprozesses dienlich sein.

Deshalb stehen Forderungen nach entsprechender Absicherung der Werkzeugkonstruktion mittels einer prognosesicheren und damit notwendig qualitativ erweiterten numerischen Simulation des Umformprozesses. Dieses Ziel wird im Rahmen eines Forschungsvor-

habens durch den Ansatz erreicht, wesentliche bisher notwendige »Nacharbeiten« vorab in der Werkzeugplanungsphase im Virtuellen zu berechnen und damit bereits bei der Herstellung des »Rohwerkzeuges« zu berücksichtigen. Die Geometrie des Rohwerkzeugs soll damit wesentlich näher an der des Fertigwerkzeugs liegen. Damit wird künftig der notwendige Nacharbeitsaufwand verringert.

## 2 Zielstellung und Lösungsweg

Ergebnisse vorangegangener Forschungsvorhaben (Großmann 2006) zur FEM-Prozesssimulation haben prinzipiell folgende Aspekte gezeigt:

- Mit welchen Modellstrukturen und Parametrierungen ist die Einbeziehung der elastischen Einflüsse aus Maschine und Ziehkissen in der Prozesssimulation möglich.
- Die elastischen Maschinen- und Werkzeugeinflüsse können in ihrem Einfluss auf das Ziehergebnis mittels Simulation bestimmt werden (»erweiterte Methodenplanung«).
- Das erweiterte Prozessmodell kann zur virtuellen Anpassung der Werkzeuggeometrie prinzipiell angewendet werden.

Zur industrietauglichen Anwendung dieser erarbeiteten Methoden besteht schwerpunktmäßig noch folgender Forschungsbedarf, der gleichzeitig die Hauptaufgaben des vorgestellten Lösungsweges darstellt (Abbildung 1):

- Nachweis der »erweiterten Methodenplanung« am realen Einarbeitungsprozess durch Vergleich der Simulationsergebnisse mit gemessenen Werkzeugen und Blechteilen (Abbildung 1, Punkt 1),
- Modellbewertung hinsichtlich der erreichbaren Realitätsnähe (Abbildung 1, Punkt 2) sowie
- automatisierte Topologieanpassung entsprechend der Werkzeugarbeitung durch Applikation von kommerziell verfügbaren Optimierungsalgorithmen auf die Prozesssimulation mit elastischen Maschinen- und Werkzeugeinflüssen (Abbildung 1, Punkt 3).



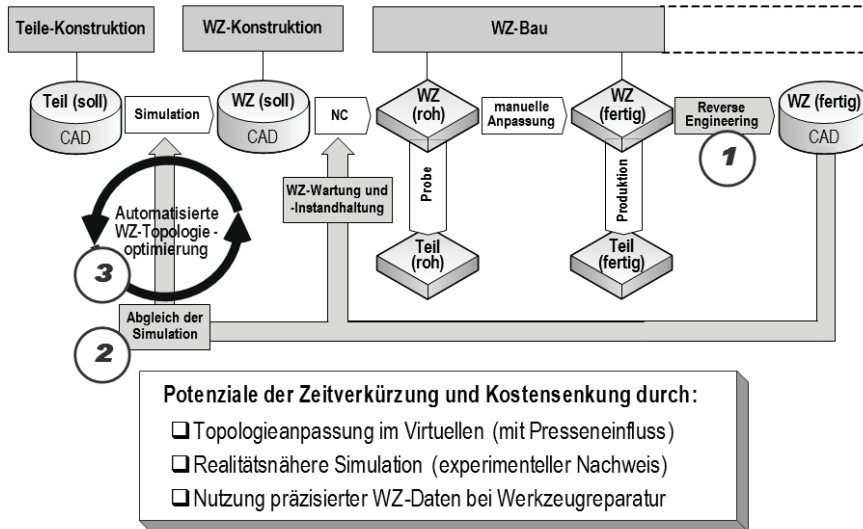


Abbildung 1: Planung und Durchführung von Umformprozessen sowie mögliche Effekte beim Einsatz von CAE-Methoden

Das Forschungsziel besteht in der Verknüpfung der Umformprozesssimulation (Thoms et al 2002) mit innovativer Mess- und Auswertetechnik (Reverse Engineering) (Schöne 2009), um die der Simulation zugrunde liegenden Modelle weiterzuentwickeln und damit die Einarbeitung von Umformwerkzeugen wissenschaftlich zu durchdringen und effektiver gestalten zu können.

Mit den vorgestellten Arbeiten wird ein Beitrag zur Verkürzung des Einarbeitungsprozesses und damit zum schnelleren Serienanlauf sowie zur Kostensenkung geleistet, indem die notwendige Geometrie-anpassung der Werkzeugeinarbeitung vorab in der Methoden- und Werkzeugplanung berechnet wird. Dies wird mit der Berücksichtigung der Werkstoff-, Maschinen- und Werkzeugeinflüsse möglich. Somit entsteht eine neue Basis für die Fräsdatengenerierung für den Bau des »Rohwerkzeugs«. Da die Geometrie des Rohwerkzeugs auf diese Weise wesentlich näher an der des Fertigwerkzeuges liegt, kann mit der untersuchten Methodik und deren Überführung in die Praxis der Nacharbeitsaufwand verringert werden.

### 3 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung orientiert sich an realen praxisrelevanten Aufgabenstellungen und Beispielwerkstücken eines ausgesuchten Industrieunternehmens. Als problematisches Element erweist sich die lückenlose prozessbegleitende Datenerfassung aller Zwischenzustände der Werkzeuge und Blechteile. Vielfach unterliegen gerade in den Anlaufphasen neuer Modelle im Automobilsektor die Daten enormen Geheimhaltungen hinsichtlich geometrischer und technologischer Besonderheiten sowie relativ großen Änderungen. Ausgewählt wird eine PKW-Rückwand.

Als Eingangsdaten aller geometrischen Vergleiche stehen zunächst CAD-Modelle des Stempels, der Matrize, des Niederhalters und des zu fertigenden Blechteils zur Verfügung. Alle weiteren CAD-Daten der Einarbeitungszustände werden aus 3D-Scandaten ermittelt. Weiterhin steht im Ergebnis der Umformsimulation die virtuelle Blechgeometrie mit der Blechdickenverteilung zur Verfügung (PAM-STAMP 2009).

Folgende konkrete 3D-Datensätze werden für die Untersuchungen herangezogen:

- ACAD-Modell Werkzeug Matrize nach Konstruktion
- BCAD-Modell Werkzeug Stempel nach Konstruktion
- CCAD-Modell Werkzeug Niederhalter nach Konstruktion
- DCAD-Modell Blechteil nach Konstruktion konkav
- ECAD-Modell Blechteil nach Konstruktion konvex
- F3D-Scandaten Werkzeug Matrize nach 1. Einarbeitung
- G3D-Scandaten Werkzeug Stempel nach 1. Einarbeitung
- H3D-Scandaten Werkzeug Niederhalter nach 1. Einarbeitung
- I3D-Scandaten Werkzeug Matrize nach 2. Einarbeitung
- J3D-Scandaten Werkzeug Stempel nach 2. Einarbeitung

- K3D-Scandaten Werkzeug Niederhalter nach 2. Einarbeitung
- L3D-Scandaten Blechteil ohne Werkzeugeinarbeitung, konkav
- M 3D-Scandaten Blechteil ohne Werkzeugeinarbeitung, konvex
- N3D-Scandaten Blechteil 1. Einarbeitung, konkav
- O3D-Scandaten Blechteil 1. Einarbeitung, konvex
- P3D-Scandaten Blechteil 2. Einarbeitung, konkav
- Q3D-Scandaten Blechteil 2. Einarbeitung, konvex
- R3D-Simulationsdaten Blechteil konkav
- S3D-Simulationsdaten Blechteil konvex.

Als 3D-Scanverfahren wird ein 3D-Streifenprojektionssensor (GOM 2003) angewendet. Die erreichbare Genauigkeit hängt vom verwendeten Messfeld der Kameras ab. Der Scanner verfügt über drei unterschiedliche Messfelder. Für die Werkzeuge und Blechteile wird das mittlere Messfeld mit  $350 \times 350$  mm gewählt, um alle Details der Oberfläche erfassen zu können. Der Hersteller gibt für diesen Messbereich eine Messunsicherheit von  $\pm 0,04$  mm an. Dabei sind ungefähr 20 Einzelmessungen erforderlich, um das gesamte Bauteil zu erfassen. Die durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, dass bei großen Werkzeugen und Blechteilen eine vorgelagerte photogrammetrische Erfassung der Referenzmarken auf dem Objekt notwendig ist, um den Fehler bei der Zusammensetzung der Einzelansichten zu minimieren. Im Falle der Anwendung der vorgelagerten photogrammetrischen Messung ergibt sich eine Messunsicherheit von  $\pm 0,04$  mm für das gesamte Werkstück. Ohne photogrammetrische Messung ergibt sich allerdings eine Messunsicherheit von  $\pm 0,50$  mm. Zur Gewährleistung einer verzugsarmen Spannung der Blechteile für die Messung wird ein vertikaler Spannrahmen verwendet (Abbildung 2).

Auf Grund des umfangreichen Datenmaterials ergibt sich ein großes Potenzial von Vergleichen zwischen den Datensätzen. Die Anzahl möglicher Vergleiche kann nach Gleichung (1) berechnet werden:

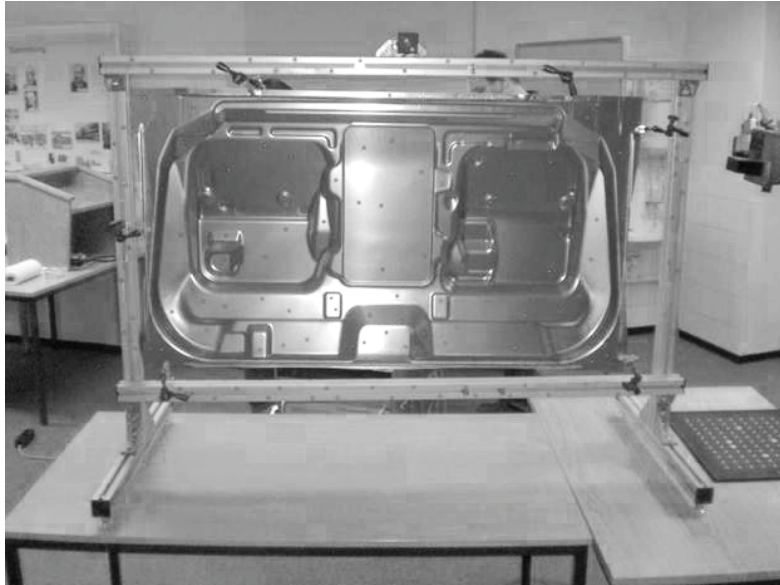


Abbildung 2: Blechteil im vertikalen Spannrahmen zur Messung von 2 Seiten, LaborTU Dresden

Abbildung 3: Auswertepotential für Geometrische Vergleiche zwischen den Datensätzen

Referenz \ Test	Test																					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S			
A	Matrize_CAD	0	AB	AC	x	AE	AF	x	x	AI	x	x	x	AM	x	AO	x	AS				
B	Stempel_CAD	/	0	x	DB	x	x	BG	x	x	BJ	x	BL	x	BN	x	BP	x	BR	x		
C	Niederhalter_CAD	/	/	0	CF	x	x	CH	x	x	CI	x	CK	x	CL	x	CN	x	CP	x	CR	x
D	Blech_CAD_konkav	/	/	/	0	x	x	DG	DH	x	DI	DK	DL	x	DN	x	DP	x	DR	x		
E	Blech_CAD_konvex	/	/	/	/	0	EF	x	x	EL	x	x	EM	x	EO	x	EQ	x	ES			
F	Matrize_P1	/	/	/	/	/	0	FG	FA	x	x	x	FM	x	FO	x	FS					
G	Stempel_P1	/	/	/	/	/	/	0	x	x	GI	x	GL	x	GM	x	GN	x	GR	x		
H	Niederhalter_P1	/	/	/	/	/	/	/	0	x	x	HI	x	HL	x	HN	x	HP	x	HR	x	
I	Matrize_P2	/	/	/	/	/	/	/	/	0	IJ	IK	x	IM	x	IO	x	IS				
J	Stempel_P2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	x	JL	x	JN	x	JP	x	JR	x		
K	Niederhalter_P2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	KL	x	KN	x	KP	x	KR	x	
L	Blech_P0_konkav	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	LV	LN	x	LP	x	LR	x	
M	Blech_P0_konvex	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	x	MO	x	MP	x	MS	
N	Blech_P1_konkav	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	NO	NP	x	NR	x	
O	Blech_P1_konvex	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	x	OO	x	OS	
P	Blech_P2_konkav	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	PO	PR	x	
Q	Blech_P2_konvex	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	x	QS	
R	Blech_SimCAD_konkav	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	RS	
S	Blech_SimCAD_konvex	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0

Anzahl möglicher Vergleiche:  
 $Z = (a^2 - a) / 2$

Objektanzahl: a = 19  
Vergleichsmöglichkeiten: Z = 171

Werkzeugvergleich:	=9
Blech mit Blech:	=20
Blechedickenanalyse:	=10
Blech mit Werkzeug:	=30
(Blech mit Werkzeug): Nicht durchgeführt:	=15
Ausschluss:	0 = 19
Nicht sinnvoll:	x = 87
Wiederholung:	/ = 171

$$\text{Anzahl der Vergleiche} = (19 \times 18) / 2 = 171 \quad (1)$$

Der Aufwand für die Durchführung aller Vergleiche ist somit erheblich und nicht alle bieten auch ein Potenzial für die Auswertung. Deshalb werden auch nicht alle Vergleiche ausgeführt. In Abbildung 3 ist das reale Auswertepotenzial aufgezeigt.

In einem ersten Schritt werden CAD-Modelle der Werkzeuge mit den Scandaten unterschiedlicher Einarbeitungsphasen verglichen. Die Ergebnisse der Vergleiche zeigen beispielsweise die Abtragtiefe der manuellen Einarbeitungsphase. Die 3D-Scandaten der eingearbeiteten Werkzeuge bilden danach auch die Grundlage für die geänderten CAD-Modelle der Werkzeuge für die Reparatur. Zu diesem Zweck werden basierend auf den Scandaten nachfolgend Flächenmodelle generiert (Geomagic 2009). Damit erhält man für die NC-Programmierung und Fräsbearbeitung qualitativ hochwertige Modelle. Anschließend werden die Geometrien der Werkzeuge und der Blechteile pro Einarbeitungsphase miteinander verglichen. Für diese Vergleiche ist eine Transformation der 3D-Scandaten in das Koordinatensystem der CAD-Modelle der Werkzeuge ohne Einarbeitung erforderlich. Für alle Transformationen wird zunächst eine grobe Best-Fit-Registrierung verwendet. Nachfolgend werden die Modelle so transformiert, dass an technologischen Basen oder anderen geeigneten ebenen Bereichen ausgerichtet wird. In Abbildung 4 wird der Vergleich zwischen den CAD-Daten des Niederhalters mit den Scandaten nach der Einarbeitung dargestellt und in Abbildung 5 der Vergleich zwischen CAD-Daten der Werkzeuge und Blechteile ohne Einarbeitung. Die Abweichungen in Abbildung 4 demonstrieren deutlich die großen Maßabweichungen infolge Einarbeitung. Ohne Einarbeitung sind die Abweichungen zwischen Werkzeugoberfläche und Werkstückoberfläche sehr hoch (Abbildung 5). Die geometrischen Abweichungen sind ein Maß für die Rückfederung des Blechs (Großmann 2007) Nach der ersten Einarbeitungsphase konnte die Rückfederung des Blechs deutlich verringert werden.

Für numerische Vergleiche unterschiedlicher Einarbeitungszustände und für Vergleiche zwischen Blechteil und Werkzeug sind die 3D-Scandaten in Form von triangulierten Oberflächen aufzubereiten.

Abbildung 4: Vergleich der CAD-Daten des Niederhalters mit Scandaten der 2. Einarbeitungsphase, Abweichung in mm

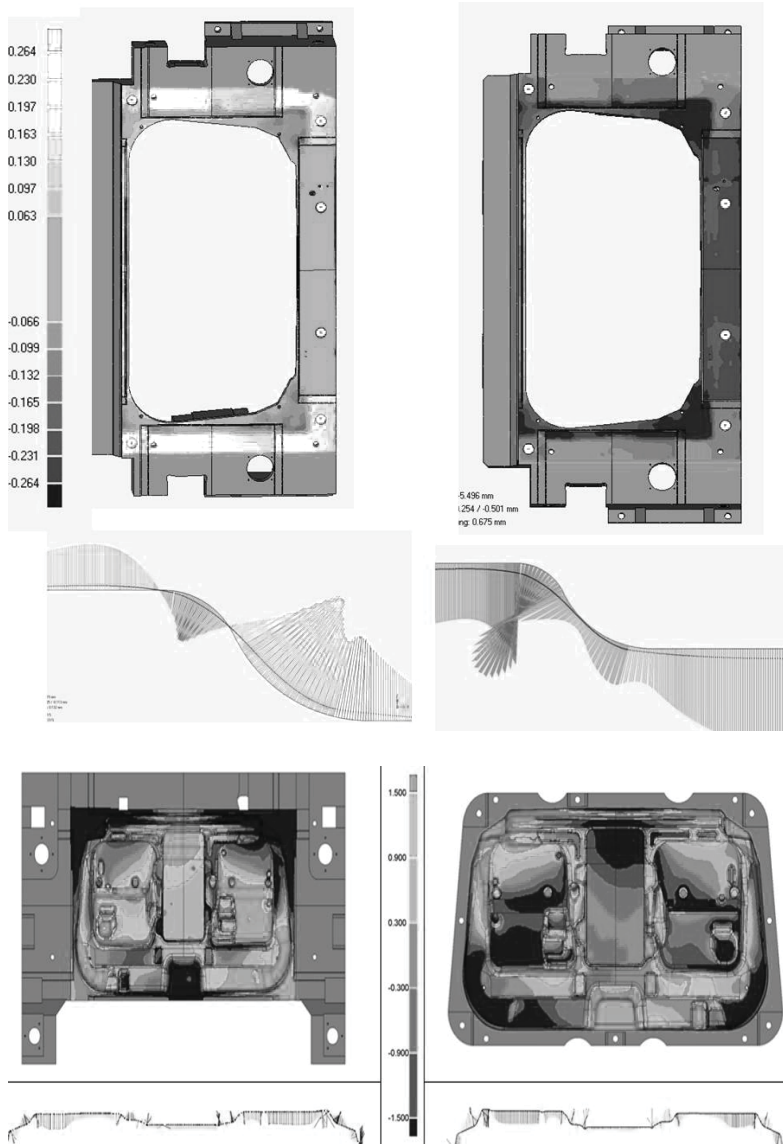


Abbildung 5: Vergleich der CAD-Daten der Werkzeuge mit den 3D-Scandaten der Bleche ohne Einarbeitung

Gilt es, die 3D-Scandaten von Blechteilen für die Umformsimulation zu nutzen, müssen diese in Flächendaten zurückgeführt werden. Zur Verifizierung der Simulationsergebnisse mit den realen Umformergebnissen werden weiterhin die Werkstoffkennwerte der realen Blechchargen im Labor ermittelt und zur Berechnung genutzt.

Die Ergebnisse der Umformsimulationsrechnungen werden anschließend ebenfalls mit den realen Blechdaten verglichen. Hierbei geht es neben der Analyse der Geometrie insbesondere um die Blechdickenanalyse und deren Vergleich mit den gemessenen Blechdicken pro Einarbeitungszustand (Abbildung 6). Es wird deutlich, dass zwischen den theoretischen und den realen Werten der Blechdicke deutliche Unterschiede bestehen. Diese realen Blechdicken werden letztendlich für die Bewertung der Simulationsrechnungen herangezogen.

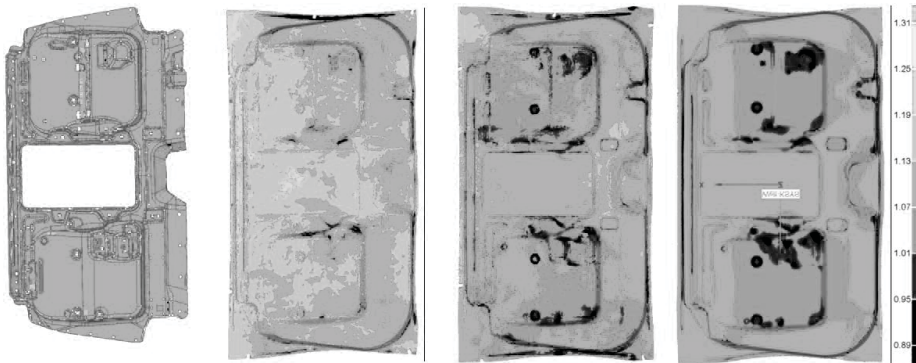


Abbildung 6: Analyse der Blechdicke aus den Werkzeugdaten, v.l.n.r. aus CAD-Daten, aus Blechdaten ohne Einarbeitung, nach 1. Einarbeitung, Simulationsergebnis basierend auf CAD-Werkzeugdaten

## 4 Ergebnisse

Das Vorhaben leistet für das Verständnis der Simulation von Umformprozessen einen wichtigen Beitrag. Zur Ermittlung erforderlicher Modellabstraktionen, Randbedingungen und technologischer Parameter werden Zusammenhänge verdeutlicht. Nunmehr ist es möglich, eine hohe Prozesssicherheit, eine hohe Qualität in Bezug auf die Maßhaltigkeit sowie eine sichere Reproduzierbarkeit bei der Herstellung von Umformteilen planerisch abzusichern. Durch Berücksichtigung von elastischen Maschinen- und Werkzeugeinflüssen in der »erweiterten Methodenplanung« werden folgende Ergebnisse angestrebt:

- Systematisch entwickelte Modelle zur »erweiterten Methodenplanung«,
- Schaffung einer messtechnisch im Realprozess ermittelten Vergleichsbasis zum Nachweis und zur Bewertung der »erweiterten Methodenplanung«,
- Vergleichende Modellbewertung mit der Antwort auf die Frage »Welches Modell kann die Effekte der Werkzeuginarbeitung am besten abbilden?«,
- Methode zur automatisierten Optimierung der Werkzeugtopologie unter den Einflüssen der Werkzeugverlagerung und -deformation auf Basis von kommerziell verfügbaren Optimierungsalgorithmen,
- Schlussfolgerungen für den weiterführenden Einsatz des verwendeten fotogrammetrischen Messverfahrens beispielsweise zur In-Prozess-Messung der Blechteile oder zur Qualitätssicherung im Werkzeugbau.
- Mit der weiteren theoretischen und experimentellen Untersuchung und der Anwendung der Methodik der »erweiterten Methodenplanung« sind Firmen in der Lage:
  - die Zeit bis zur Einführung neuer Werkzeuge zu verkürzen,
  - Umformwerkzeuge und Umformteile wirtschaftlicher herzustellen,
  - die Wartung und Instandhaltung effizienter zu organisieren und damit
  - eine stabile Position als Zulieferer für die weiterverarbeitende Industrie einzunehmen.



Der Nachweis und die Bewertung der »erweiterten Methodenplanung« wurde im Vergleich mit bekannten 3D-Messmethoden ermittelten Geometrien (nach dem Fräsen und nach der Einarbeitung) der realen Werkzeuge und der zugehörigen Blechteile vorgenommen. Dazu wurde die 3D-Scantechnik (Streifenprojektionsverfahren) in Verbindung mit photogrammetrischen Messungen für den Einsatz im Werkzeugbau- und -einarbeitungsprozess angepasst. Dabei wurde insbesondere die Instabilität der zu messenden Blechteile beachtet. Eine geeignete Strategie wurde abgeleitet und validiert. Für die Bewertung der Simulationsmethoden konnten ins CAD rückführbare Flächen generiert werden, mit denen:

- die Soll-Ist-Abweichung zur Ausgangs-CAD-Geometrie ermittelt wurde,
- die Ist-Kontaktgeometrie für die Nachweis-Simulation verwendet wurde und
- die Simulationsergebnisse mit den realen Ziehergebnissen vergleichend bewertet wurden.

Die vor und nach der Einarbeitung gemessenen Werkzeugtopologien wurden in die Umformprozessmodelle zurückgeführt. Außerdem werden künftig die Parameter der zugehörigen Pressen in die »erweiterte Methodenplanung« einbezogen. Damit ist die Bewertung der Simulationsergebnisse hinsichtlich der Realitätsnähe der erweiterten Modelle möglich. Die Frage, welches Modell dem Realprozess am nächsten kommt, kann letztlich beantwortet werden. Weiterführend können nun Optimierungsstrategien zur Rückfederungskompensation auf die Problematik der Werkzeugeinarbeitung zur automatisierten Topologieoptimierung appliziert werden.

## Literaturverzeichnis

- GOM ATOS HR, 2003, 3D-Scanner, GOM mbH, Braunschweig
- Großmann, K.; Hardtmann, A.; Wiemer, H., 2006, Simulation des Blechumformprozesses unter Berücksichtigung des statischen Verhaltens der Pressmaschine. ZWF 101, 10, S. 600-605
- Großmann, K.; Hardtmann, A.; Wiemer, H.; Ulbricht, V.; Süße, D., 2007, Vergleichende Bewertung der Simulation von Umformprozessen mit elastischen Randbedingungen. Forschungsbericht Nr. 264, AiF/EFB, Hannover, 2007

Raindrop Geomagic Studio, 2009, V 10  
Schöne, C., 2009, Reverse Engineering für Freiformflächen in Prozessketten der  
Produktionstechnik. Verlag Dr. Hut, München  
Stelzer, R.; Eigner, M., 2009, Product Lifecycle Management. Springer: Berlin  
Thoms, V.; Voelkner, W.: Süße, D., 2002, Methoden zur Kennwertermittlung für  
Blechwerkstoffe. Forschungsbericht Nr. 187, AiF/EFB 2002  
Umformsimulationsprogramm PAM-STAMP 2G v2009.0.1 Hersteller/Lieferant:  
ESI GmbH, Eschborn bzw. ESI Group

### **Kontakt**

Jörg Szyszka  
Karosseriewerke Radeberg  
CAD/Werkzeugbau  
Heinrich-Gläser-Straße 20  
01454 Radeberg  
*Jorg.szyszka@kwd-dd.de*

Dr.-Ing. Dietmar Süße  
TU Dresden  
Fakultät Maschinenwesen  
Institut für Festkörpermechanik  
01062 Dresden  
*Dietmar.Suesse@tu-dresden.de*

Dr.-Ing. habil. Christine Schöne  
TU Dresden  
Fakultät Maschinenwesen  
Lehrstuhl Konstruktionstechnik/CAD  
01062 Dresden  
*www.re-dresden.de*