

Die Qualität digitaler Prototypen

Wolfgang Rimkus, Herbert Bauer

Hochschule Aalen, wolfgang.rimkus@fh-aalen.de, Aalen, Deutschland

Hans-Peter Betz, Felix Seifarth

Firma TRW Automotive, Alfdorf, Deutschland

Abstract:

Dieser Aufsatz untersucht die Qualität und Aussagekraft von virtuellen bzw. digitalen Prototypen im Vergleich zu physikalischen. Die Aufgabe der Simulation heute heißt, eine möglichst weitgehende Integration in die Prozesskette zu erreichen. Nach der Herstellung des virtuellen Prototypen ist es notwendig, diesen mit seinen charakteristischen Eigenschaften in die Gesamtbaugruppe einzubauen und in den nachfolgenden Prozess/simulationsschritten (Crash, Fahrsimulation, Festigkeitsberechnung ...) zu verwenden.

Keywords:

Innenhochdruckumformung, IHU, Simulation, digitale Prototypen, Prozesskette, Virtuelle Produktentwicklung

1 Einleitung

Der rasante technische Wandel mit steigenden Qualitäts- und Kostenanforderungen bedingt, dass erfolgreiche Produktinnovationen immer wichtiger, aber auch immer komplexer und kostenträchtiger werden. Gleichzeitig werden die Produktlebenszyklen immer kürzer, d.h. die Zeit zur Erwirtschaftung der Entwicklungskosten reduziert sich immer weiter.

Heute ist es daher nicht mehr möglich, diese Anforderungen zu erfüllen, ohne die Werkzeuge der virtuellen Produktentwicklung zu nutzen. Hierbei kommen CAx- und FEM-Systeme zum Einsatz, mit denen 3D-Volumenmodellierung, Festigkeits- und Schwingungsuntersuchungen und die Simulation von Fertigungsprozessen durchgeführt werden können.

"Time-to-market" ist das neue Zauberwort der produzierenden Branche. Nachdem sich die Unternehmen in der Vergangenheit noch auf die Erfolgsfaktoren „Kosten und Qualität“ fokussierten, zeichnet sich nun eine Konzentration auf den Faktor „Zeit“ ab. Produkte müssen heute möglichst schnell zur Marktreife gebracht werden. Ziel der virtuellen Produktentwicklung ist es, qualitäts-, zeit- und kostenoptimale Lösungen zu gewährleisten.

Während der letzten fünfzehn Jahre hat sich der Entwicklungsprozess neuer Modelle in der Automobilindustrie rasant verändert. Waren noch in den frühen 90er-Jahren viele aufwändige Tests an teuren Prototypen bei der Entwicklung eines neuen Fahrzeugmodells erforderlich, benutzen Automobilhersteller heute fast ausnahmslos integrierte Software-Lösungen, um bessere Produkte in immer kürzerer Zeit entwickeln zu können.

Bei der Entwicklung und Fertigung industrieller Produkte wird heute praktisch jeder Schritt am Computer „durchgespielt“.

Doch wie aussagekräftig ist die Umformsimulation von Bauteilen? Wie gut werden die Eigenschaften des Bauteils nach dem Umformprozess vorausgesagt? Dies wird in der vorliegenden Arbeit am Beispiel des Gehäuses eines Gurt-Straffers untersucht. Weiterhin wird dargestellt, wie die Ergebnisse der Umformsimulation im Sinne einer geschlossenen Prozesskette für weiterführende Analysen verwendet werden können, und welche Probleme dabei auftreten.

2 Aufgabenstellung

Airbags und Gurtstraffer sind in vielen Kraftfahrzeugen Bestandteil des Rückhaltesystems. Gurtstraffer senken im Crashfall das Verletzungsrisiko. Die vorderen Dreipunkt-Automatikgurte sind mit pyrotechnischen Gurtstraffern ausgestattet, bei immer mehr Fahrzeugen auch die hinteren Dreipunktgurte. Die Gurtstraffer beseitigen im Crashfall innerhalb von ca. 12 Millisekunden Gurtlose von 80 bis 100 mm. Bei großer Gurtlose, zum Beispiel durch einen Wintermantel, kann der Gurtstraffer maximal 200 mm Gurtband einziehen. Da der Gurt durch den Straffungsvorgang enger am Körper anliegt, nehmen die Insassen früher an der Fahrzeugverzögerung teil. Dadurch können die Belastungen des Körpers über den gesamten Crashverlauf gleichmäßiger verteilt und auf niedrigerem Niveau gehalten werden. Die Verletzungsgefahr sinkt. Die Fa. TRW Automotive hat die Technologie der Gurtstraffer weiterentwickelt und erzielt damit hervorragende Ergebnisse im Bezug auf die Insassensicherheit. Das Gehäuse eines Gurt-Straffers (Bild 1) wurde bisher durch einen mehrstufigen mechanischen Aufweitvorgang hergestellt. Dabei treten erhebliche Probleme bezüglich Prozesssicherheit, Qualität und Kosten auf.

Es wurde daher untersucht, ob das Verfahren des Innenhochdruckumformens (IHU) für dieses Bauteil besser geeignet ist als der bisherige Fertigungsprozess. Die Anwendung der Innenhochdruckumformtechnik für das Aufweiten des Straffrohrs verspricht eine erhebliche Reduzierung der Zahl der Umformoperationen sowie eine Verbesserung der Prozesssicherheit. Allerdings musste befürchtet werden, dass das verwendete Material bei einer theoretischen Aufweitung von ca. 36% und einer Bruchdehnung von 28%, in Teilbereichen zu Rissen neigt.

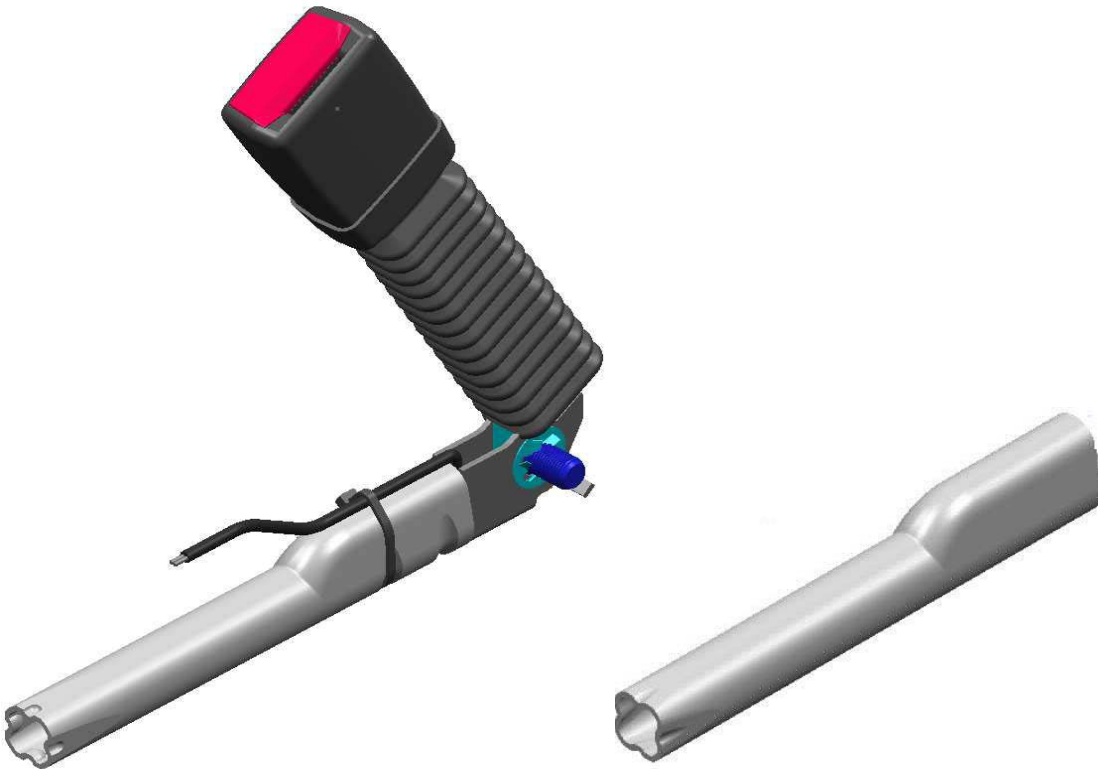


Bild 1: Gurt-Straffer, Baugruppe und Einzelteil Strafferrohr

2.1 Simulation

Das Strafferrohr wird aufgrund der finalen Bauteilkontur in der FEM-Machbarkeitssimulation den identischen Umformungen wie im geplanten realen Fertigungsprozess unterzogen.

Um die Prototypen herstellen zu können muss das Bauteil mit einer sog. Ankonstruktion (Bild 2) versehen werden, um ein axiales Nachschieben von Material zu ermöglichen.

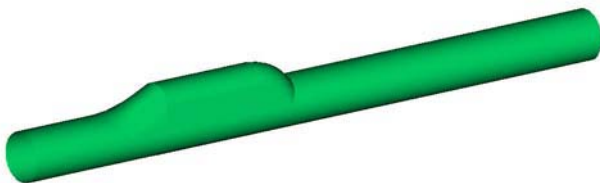


Bild 2: Gurt-Straffer mit Ankonstruktion

In Bild 3 ist das für die Simulation des Umformprozesses des Prototypen verwendete FE-Modells dargestellt. Geometriebedingt kann bei der Herstellung des Bauteils nur einseitig axial Material nachgeschoben werden. Um den Einfluss eines beidseitigen Nachschiebens zu untersuchen wurde allerdings mittels einer Simulation ohne Reibung von beiden Rohr-enden her nachgeschoben. Damit konnte allerdings keine signifikante Verbesserung der Bauteileigenschaften erreicht werden.

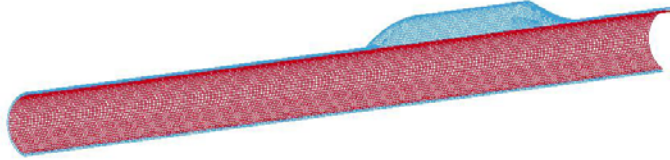
STRAFFROHR
Time = 0

Bild 3: FE-Model

Nachdem die Lastkurven [1] für Innendruck und Nachschiebeweg über der Zeit optimiert waren, konnte mittels Auswertung des FLD-Diagramms (Bild 5) sowie der Wandstärkenverteilung (Bild 4) der Umformsimulation ermittelt werden, dass das Bauteil bei entsprechendem axialem Nachschieben in einem Schritt ohne Vorformoperation oder Zwischenglühen darstellbar ist. Das Bauteil eignet sich ideal für die Herstellung mittels Innenhochdruckumformverfahren.

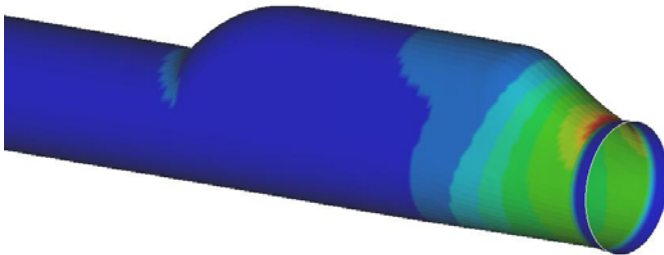
STRAFFROHR
Time = 46

Bild 4: Wanddickenverteilung

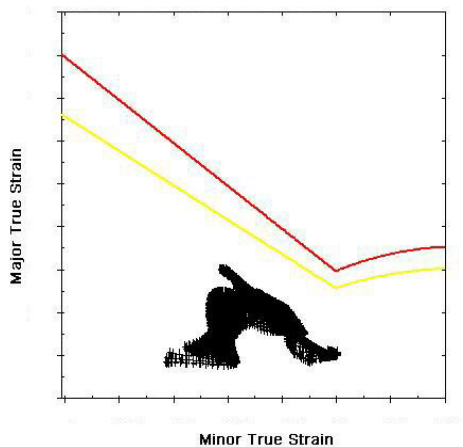


Bild 5: FLD Diagramm

3 Prototyping

Nachdem die Simulationsergebnisse eine gute Darstellbarkeit des Bauteils ergeben haben, wurden einfache, in Längsrichtung geteilte, Werkzeuge für die IHU-Herstellung der Prototypen konstruiert (Bild 6) und gefertigt (Bild 7). Die axiale Nachführung des Materials erfolgt über einen Stempel.

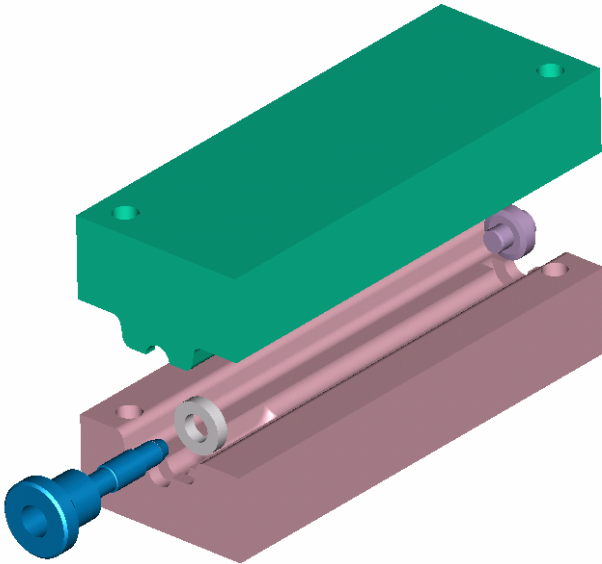


Bild 6: Werkzeug (CAD-Model)



Bild 7: Werkzeug Ober- und Unterteil

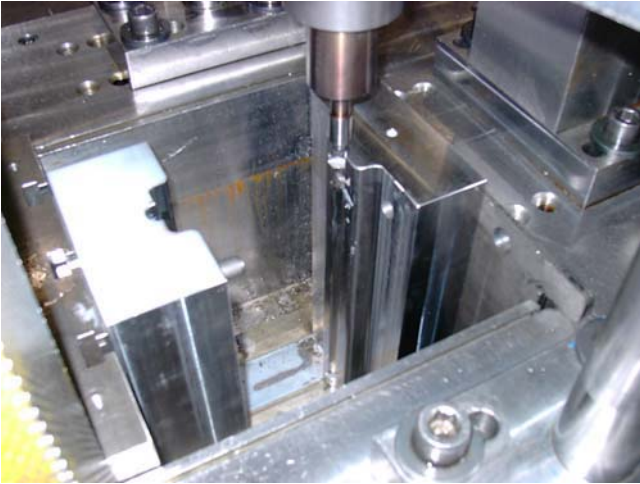


Bild 8: IHU-Anlage

Auf einer einfachen IHU-Anlage (Bild 8) war es dann ohne Probleme möglich, die Bauteile herzustellen.



Bild 9: Prototypen (unbeschnitten/beschnitten)



Bild 10: Prototyp (Schnitt)

Das Prototyping zeigte, wie bereits die Simulation, eine sehr gute Darstellbarkeit des Bauteils mittels des Innenhochdruckumformverfahrens. Bild 9 zeigt fertige Prototypen des Strafferrohrs (unbeschnitten/beschnitten), Bild 10 den Aufweitbereich im Schnitt. Die Prototypen wurden bei der Fa. TRW Automotive qualitativ und funktionell bewertet, sowie im Crash getestet. Dabei wurde festgestellt,

dass die mittels IHU Verfahren hergestellten Bauteile in allen Punkten exzellent die an sie gestellten Anforderungen erfüllen.

4 Vergleich

Ein gefertigter Prototyp wurden hinsichtlich seiner Wanddickenverteilung mit den Simulationsergebnissen verglichen. Zur Auswertung der Wanddickenverteilung des Prototypen wurde dieser mittels 3D-Computertomographie (RayScan, Fa. Wälschmiller) digitalisiert und in das CAD-System (STL) zurückgeführt.

Bild 11 zeigt den Querschnitt, der für den Vergleich betrachtet wurde.

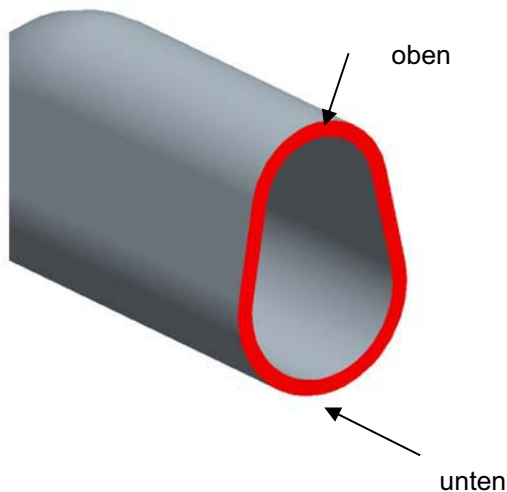


Bild 11: gemessener Querschnitt

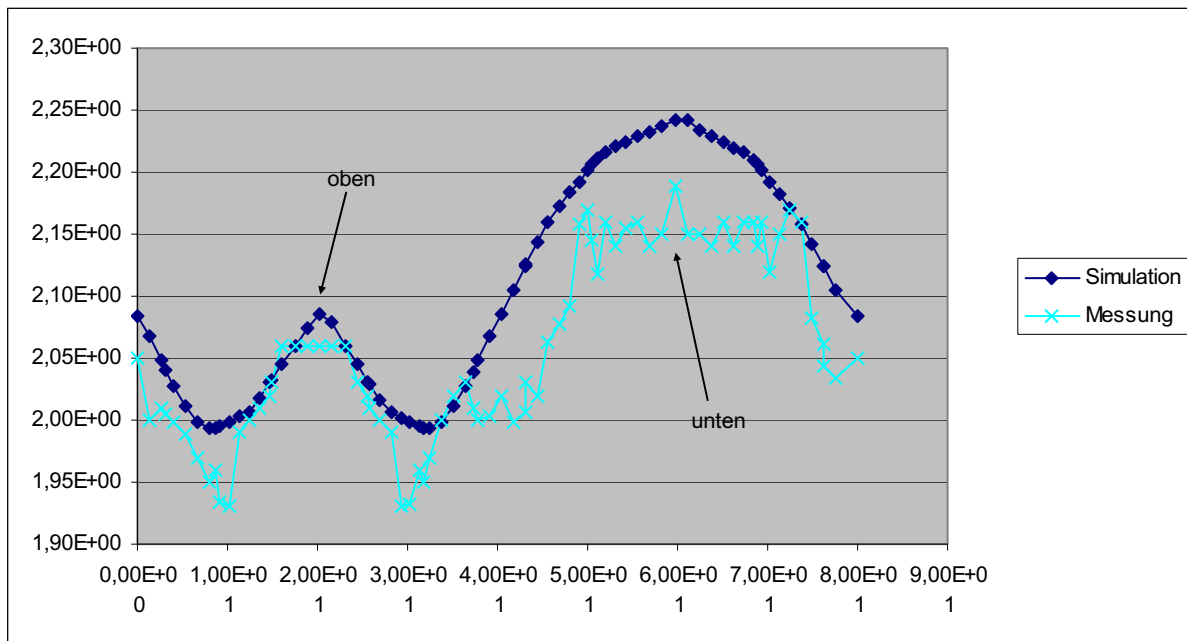


Bild 12: Vergleich Simulation / Messung

Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit dem realen Bauteil zeigt eine maximale Abweichung von ca. 0,1 mm (Bild 12). Dieser Wert liegt im Toleranzbereich des Rohrdurchmessers. Simuliertes wie reales Bauteil zeigen eine Aufdickung im unteren Bereich (Bild 11) und eine leichte Abstreckung in den seitlichen Regionen. Die Wanddickenverteilung ist aber im gesamten Querschnitt höher als beim Ausgangsrohr.

5 Prozesskette

Um die Simulationsergebnisse besser auswerten zu können, wurden diese mittels einer von der FH Aalen entwickelten Software zurückgeführt in das CAD-System (Bild 13). Die Rückführung [3] bzw. Weiterverarbeitung der Resultate der Umformsimulation ist sowohl als Flächen- oder Solidmodell in das verwendete CAD-System sowie auch als FE-Modell in alle gebräuchlichen FEM-Systeme möglich.



Bild 13: Rückgeführte Simulationsergebnisse (unbeschnitten/beschnitten)

6 Zusammenfassung

Wie an den Ergebnissen der Verifikation beispielhaft gezeigt wurde, lassen sich heute Prozesssimulationen mit expliziten FE-Systemen, wie z.B. LS-DYNA, erfolgreich zur Verbesserung der Produktentwicklung im Bereich der IHU-Fertigung einsetzen. Es kann eine entscheidende Reduzierung von Zeit und Entwicklungskosten bei der Entwicklung von Trägerstrukturteilen bei gleichzeitig verbesserter Qualität der Bauteile und des Fertigungsprozesses erreicht werden.

Problematisch ist bis heute die Beurteilung der Prozessgrenzen hinsichtlich Materialversagens wie Reißen, Falten usw. Absolut ungeeignet ist die Verwendung der plastischen Vergleichsdehnung als Versagenskriterium, da hierbei die Umformhistorie vernachlässigt wird und dadurch zu hohe Dehnungen entstehen. Besser geeignet ist das Grenzformänderungsdiagramm, da hier die Dehnungen in zwei Richtungen vorzeichenbehaftet betrachtet werden. Sollen allerdings die Materialeigenschaften bzw. Materialveränderungen des Bauteils infolge des Umformprozess für weitere Simulationen wie z.B. Crash verwendet werden, gibt es derzeit kein Programmsystem, welches andere Versagenskriterien als die plastische Vergleichsdehnung kennt. Hier ist es notwendig die Versagenskriterien weiterzuentwickeln.

Bei den heute üblichen Schalenelementnetzen sind die Ergebnisse bei großen Verformungen/Verzerrungen des FE-Netzes immer ungenauer [2]. Notwendig wäre ein – möglichst – automatischer Remesh der Struktur, abhängig von den Elementdeformationen, ähnlich wie er in LS-DYNA für ebene Solidelemente existiert.

Zukünftige Entwicklungen sind als notwendig auf dem Gebiet der Materialgesetze, insbesondere des Versagenskriterien, bei der Verbesserung der Qualität der Simulationsergebnisse bei großen Verformungen und weiterhin bei der Integration der Simulationsprogramme in die Cax-Kette. Virtuelle Bauteile sind in Zukunft Eingangsgröße für die Evaluierung in den Bereichen Betriebsfestigkeit und Crash und damit Ausgangspunkt für bessere Produkte.

7 Literatur

- [1] Rimkus, W.; Mihsein, M. J. A.; Bauer, H.; Design of Load Curves for Hydroforming applications, Journal of Materials Processing Technology, volume 108 issue 1, 2001
- [2] Rimkus, W.; Simulation and optimisation of the interior high pressure (IHP) manufacturing process using the finite element method (FEA), University of Wolverhampton, PhD thesis, 2000, Shelfmark DXN038848
- [3] Gantner, P.; Harrison, D.; De Silva, A.; Bauer, H., More Realistic Virtual Prototypes by means of Process Chain Optimisation. 4. European LS-DYNA Users Meeting 21-22 May 2003, Ulm/Germany