

Simulation des mehrstufigen Umformprozesses eines Getriebekolbens im ZF-Automatgetriebes

Wolfgang Rimkus, Herbert Bauer

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

Gert Bauknecht, Ralf Morlo, Tobias Karstens

ZF Getriebe GmbH, Saarbrücken & Friedrichshafen, Deutschland

Abstract:

Dieser Aufsatz untersucht die Möglichkeiten, die die Simulation des mehrstufigen Umformprozesses des ZF-Automatgetriebes (mit Solidelementen) im Hinblick auf die Aussagekraft von virtuellen bzw. digitalen Prozessen bietet. Weiterhin wird geprüft, ob es möglich ist, die Ergebnisse der Umformsimulation für nachfolgende Berechnungen zu verwenden (Crash, Fahrsimulation, Festigkeitsberechnung ...). Die Aufgabe der Simulation heißt heute, eine möglichst weitgehende Integration in die Prozesskette zu erreichen.

Keywords:

Massivumformung, Tiefziehen, Simulation, digitale Prototypen, Prozesskette, Virtuelle Produktentwicklung, VPE, Automatgetriebe

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 ohne die Werkzeuge der virtuellen Produktentwicklung (VPE) zu erfüllen. 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, nutzen 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“. Dies gilt insbesondere auch für mehrstufige Prozess in der Blech- und Massivumformung.

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 Getriebekolbens eines 6-Gang-Stufenautomatgetriebe der Firma ZF Getriebe GmbH 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

Im Jahr 2001 hat die Firma ZF Getriebe GmbH mit dem „myTronic6“ ein innovatives 6-Gang-Stufenautomatgetriebe für Personenwagen eingeführt. Das Getriebe mit der Bezeichnung 6HP26 (Abb. 1) wurde gegenüber seinem Vorgänger im Bezug auf Gewicht, Kosten, Leistung und Wirkungsgrad erheblich verbessert. Dies gelang u.a. durch einen konsequenten Einsatz von Bauteilen aus Blech sowie die Verwendung innovativer Technik wie dem Planetenradsatz nach dem System von Lepelletier (Abb. 2) [3]. Die vorliegende Arbeit untersucht, ob der Einsatz der Simulationstechnik bei der Entwicklung zukünftiger Getriebebauteile Einsparungspotentiale bezüglich Zeit und Kosten bietet und ob möglicherweise Probleme im Umformprozess frühzeitig zu erkennen sind. Weiterhin soll untersucht werden, ob es möglich ist, die umgeformten Bauteile in weiterführenden Analysen zu verwenden und möglicherweise bezüglich ihrer Funktion (Gewicht, Spannungen) analysierbar bzw. optimierbar sind. Weiterhin soll untersucht werden, ob die Simulationsmodelle der umgeformten Bauteile in nachfolgenden Analysen verwendet werden können und ob eventuell in diesen Bauteilen weiteres Optimierungspotential hinsichtlich der Reduzierung von Gewicht und Spannungen steckt.

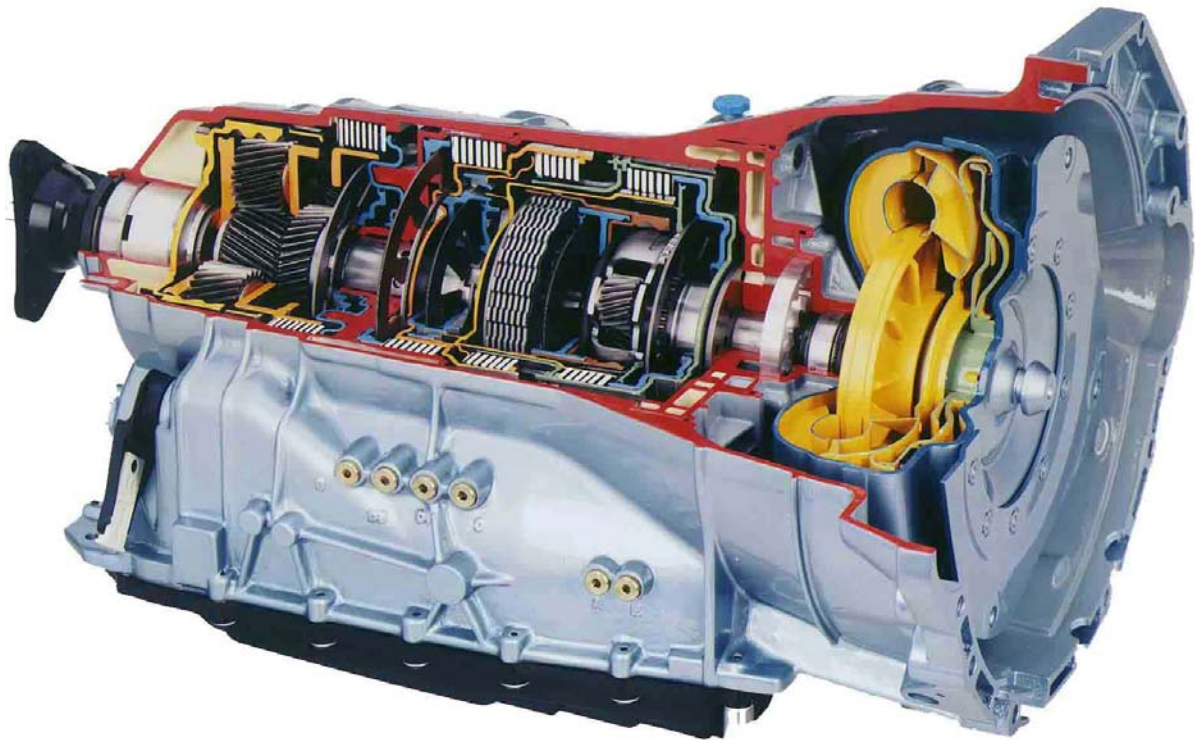


Abbildung 1 : Getriebe 6 HP 26 (Quelle ZF)

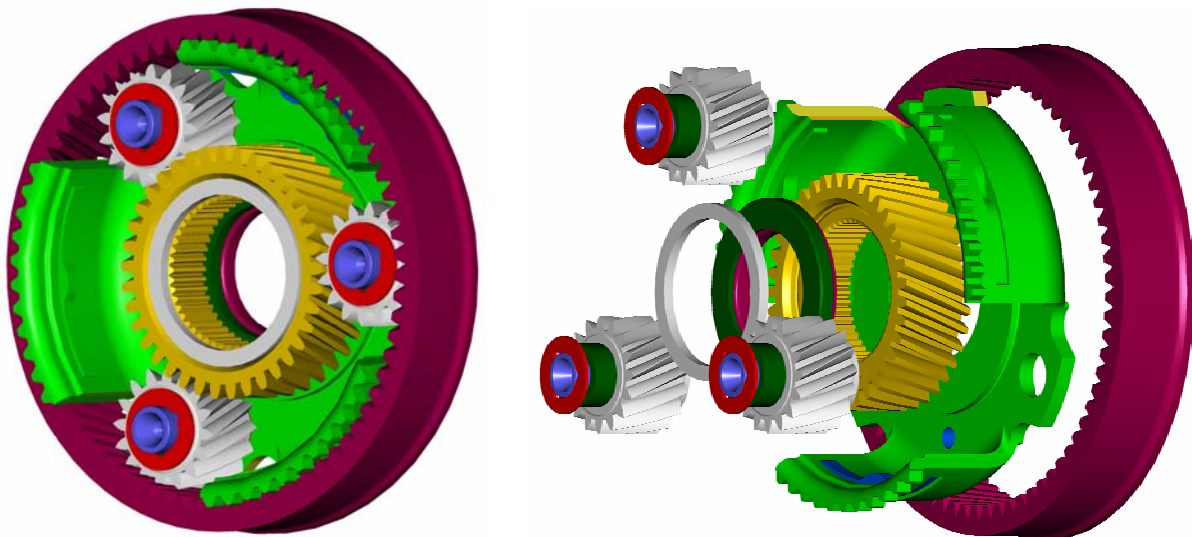


Abbildung 2 : Planetenradsatz (Quelle ZF)

Betrachtet wird ein Getriebekolben (Abb. 3), der einem mehrstufigen Umformprozess unterzogen wird. Für die Fertigung des komplexen Bauteils werden Werkzeugsysteme mit mehreren hintereinander angeordneten Umformstufen eingesetzt. In einer Folgepresse wird das Bauteil vom Coil zum fertigen Produkt umgeformt. Der Prozess beinhaltet sowohl die Operation Tiefziehen als auch Anteile von Massivumformung.

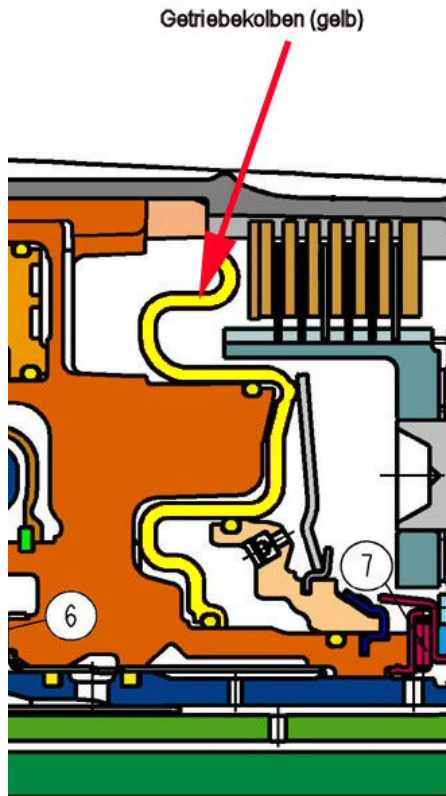


Abbildung 3 : Getriebekolben (Quelle ZF)

3 Simulation

Der Getriebekolben wird, basierend auf den Werkzeugzeichnungen sowie der Stadienfolge des Umformprozesses, den gleichen Umformungen wie im realen Fertigungsprozess unterzogen. Vorgegeben waren die Werkzeugzeichnungen (2D, Papier), Stadienfolgen, Werkzeugwege und Pressenkräfte. Da der Fertigungsprozess das Bauteil sowohl tiefzieht als auch massiv umformt, kann die Simulation nicht mit Schalenelementen erfolgen, sondern muss mit Solidelementen durchgeführt werden. Aufgrund der rotationssymmetrischen Geometrie können allerdings ebene Solidelemente (Abb. 4) verwendet werden. Die Vernetzung erfolgt innerhalb von LS-Dyna 2D r-adaptiv mit einer Elementkantenlänge von 0.3 mm (Blechwandstärke 2.5 mm). Daraus ergeben sich ca. 3300 rotationssymmetrische 2D-Solidelemente. Er wurde jeweils ein Umformschritt simuliert, dann eine Rückfederberechnung durchgeführt. Anschließend wurden diese Ergebnisse für die jeweils nachfolgenden Umformoperation verwendet.

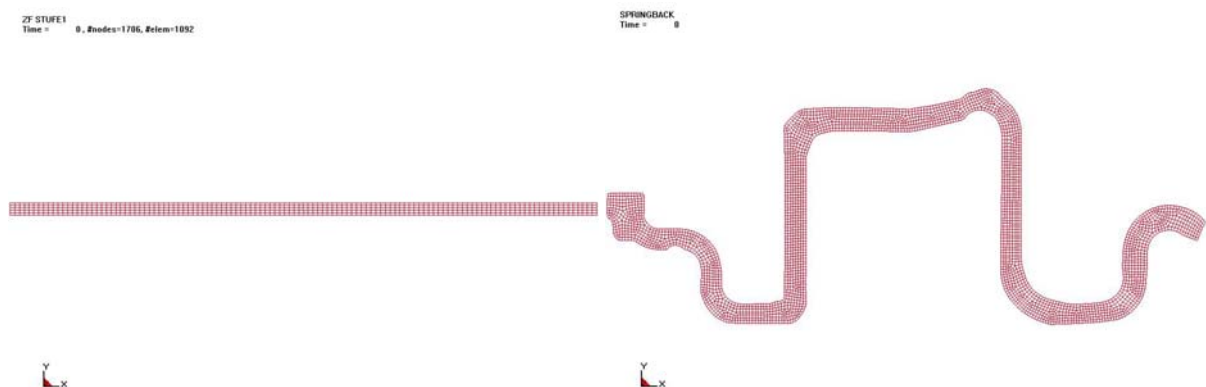


Abbildung 4 : FE-Modell (Anfang/Ende der Umformung, Halbschnitt, Rotationsachse links)

4 Ergebnisse

Die Aussagefähigkeit der Simulation wird überprüft, indem die Form des Realbauteils gemessen und dann verglichen wird mit dem Simulationsergebnis. Zunächst war festzustellen, dass die Geometrie des virtuellen Bauteils aus der Umformsimulation deutlich von der Geometrie des Realbauteils abweicht. In der Simulation war an der Stelle (1) eine bemerkenswerte Anhäufung von Material festzustellen.

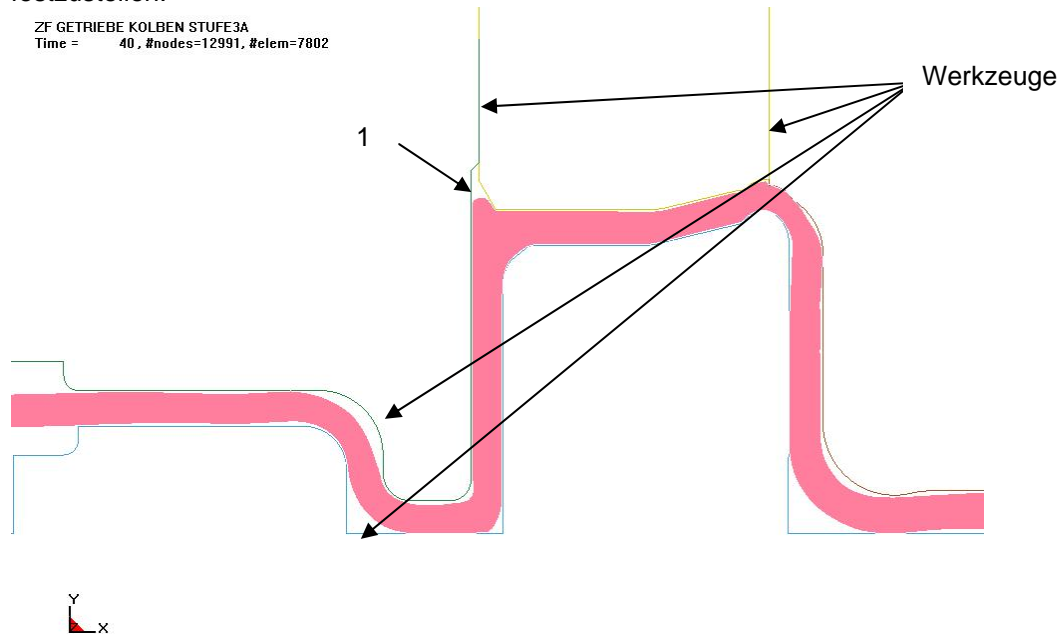


Abbildung 5 : Virtuelles Bauteil, Materialanhäufung

Die Suche nach der Fehlerquelle ergab als Ursache für die Unterschiede erhebliche Differenzen zwischen den Werkzeugzeichnungen und der tatsächlichen Geometrie der in der Maschine zur Produktion verwendeten Werkzeuge. Nach einer Korrektur der Werkzeuggeometrien, entsprechend den gemessenen Werkzeugmaßen, folgte dann eine deutlich bessere Übereinstimmung zwischen der Form des Realbauteils und dem Ergebnis aus der Umformsimulation (Abb 6). Insbesondere die in der Realität nicht auftretenden Materialanhäufungen wurden auch bei der Simulation nicht mehr festgestellt.

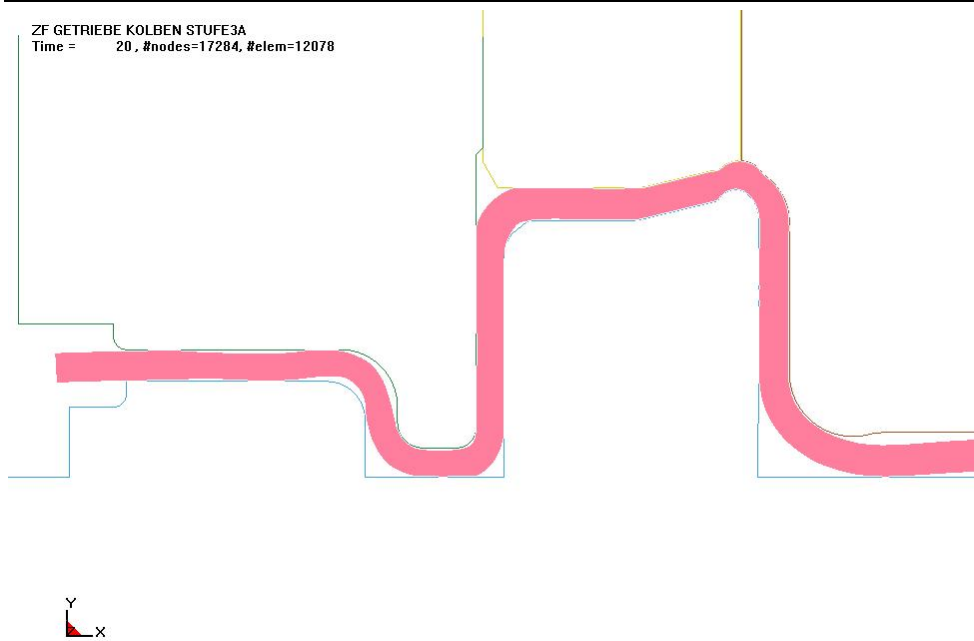


Abbildung 6 : Umformprozess nach der Korrektur der Werkzeuggeometrie

Abb. 7 zeigt die Bauteilgeometrie des Realbauteils im Schnitt im Vergleich mit der Geometrie aus der Simulation am Ende des mehrstufigen Umformprozesses. Festzustellen ist, dass die Radien in der Simulation besser ausgeformt werden als in Realität. Ursache dafür könnte die Kraftsteuerung des realen Umformprozess im Vergleich zur Wegsteuerung in der Simulation sein. Weiterhin scheinen die Radien im realen Werkzeug größer zu sein als auf den Werkzeugzeichnungen (wurden nicht ausgemessen). In Abb. 8 ist die Geometrie des Realbauteils der CAD-Geometrie gegenübergestellt.

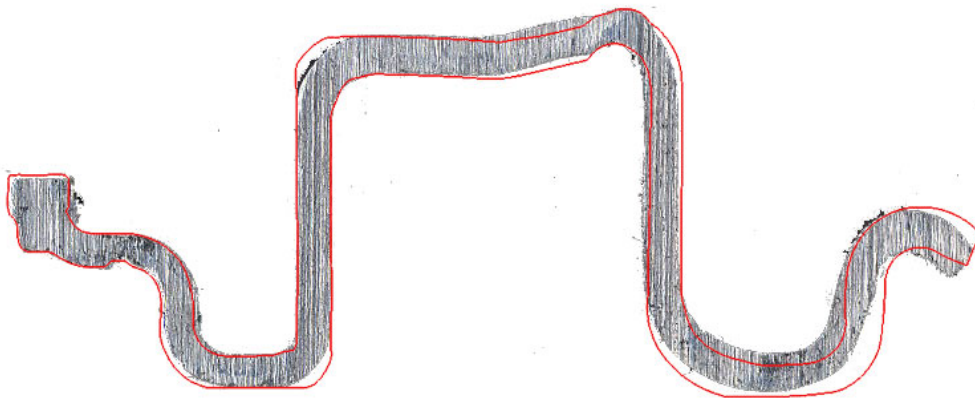


Abbildung 7 : Vergleich Realbauteil – Simulation (rot)

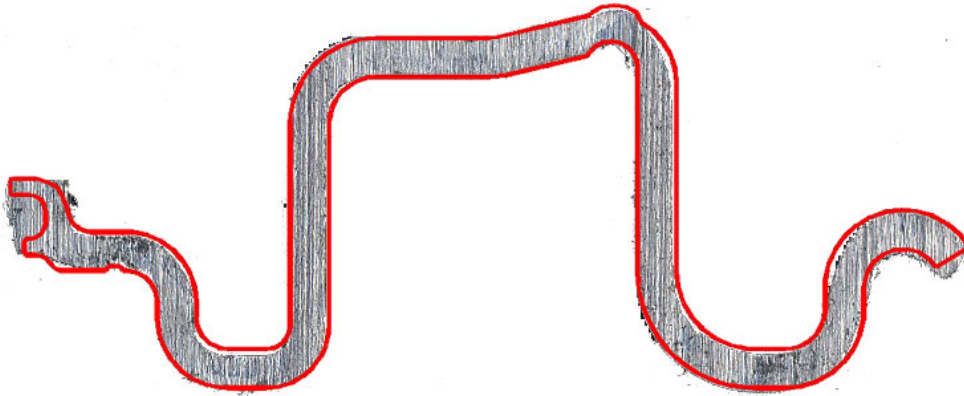


Abbildung 8 : Vergleich Realbauteil – Sollgeometrie CAD (rot)

5 Prozesskette

Ziel des Projekts war es, neben der Untersuchung der Aussagekraft der Umformsimulation, festzustellen, ob es möglich ist, die Resultate der virtuellen Umformung für weiterführende Festigkeitsrechnungen zu verwenden. Für die Simulation der Umformung von (dünnwandigen) Blechstrukturen, durchgeführt mit Schalenelementen, wurde dies bereits in mehreren Veröffentlichungen [1], [4], [5], [6] dokumentiert. Durch den Umformprozess wird das Bauteil kaltverfestigt und kann dadurch möglicherweise höher belastet werden. Daraus ergibt sich die Fragestellung, ob dieser Effekt u.U. genutzt werden kann um die Geometrie des Bauteils zu optimieren?

Die Rückführung der aus dem Umformprozess resultierenden Geometrie ist relativ einfach möglich indem die Ergebnisse im Postprozessor im VRML Format abgespeichert werden. Die VRML Daten können dann im CAD-System importiert und weiterverarbeitet werden (Abb. 9, 10).

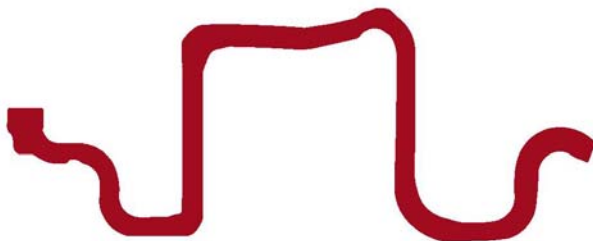


Abbildung 9 : Rückgeführte Simulationsergebnisse (2D) im CAD-System

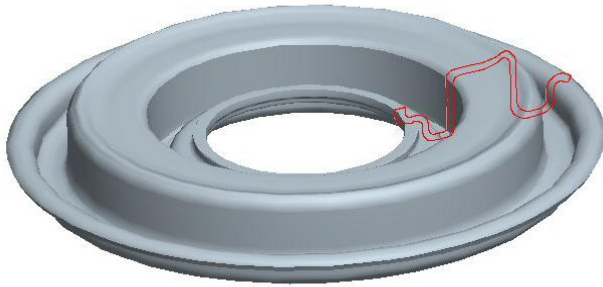


Abbildung 10 : 3D-Geometrie aus rückgeführtem 2D-Schnitt

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die Simulation des Umformprozesses sehr empfindlich auf die Veränderung von Parametern reagiert. Insbesondere die Geometrie der Werkzeuge sowie die Werkzeugbewegungen bzw. Kräfte haben einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis des Umformprozesses. Deutlich wird, dass die Rücksimulation eines bestehenden Prozesses nur dann mit der Realität vergleichbare Ergebnisse zeigt, wenn die Randbedingungen bezüglich Material, Geometrie und Prozessführung präzise vor Beginn der Simulation erfasst worden sind. Dies bedeutet allerdings auch, dass mithilfe der Simulation von Umformprozessen mit LS-DYNA sehr genau der Prozessablauf und die Eigenschaften des umgeformten Bauteils vorausgesagt werden können. Auch eine Optimierung der Prozessführung bzw. Prozessparameter ist sehr gut möglich.

Eine Rückführung der Geometrie des umgeformten Bauteils in ein beliebiges CAD-System ist möglich, auch eine weiterführende Berechnung kann damit ohne Probleme durchgeführt werden. Derzeit nicht möglich ist eine Berücksichtigung von Eigenspannungszustand und Kaltverfestigung im umgeformten Bauteil, da es keine Möglichkeit gibt, diese Bauteileigenschaften in ein FEM-Programm (ANSYS & Nastran) zu importieren. Eine zusätzliche Hürde stellt die Notwendigkeit der Übertragung der Simulationsergebnisse aus der rotationssymmetrischen 2D-Solidberechnung auf ein 3D-Netz dar. Hier ist weitere Entwicklungsarbeit notwendig.

Literatur

- [1] Rimkus, W.; Simulation and optimisation of the interior high pressure (IHP) manufacturing process using the finite element method (FEA), University of Wolverhampton, Ph.D. thesis, 2000, Shelfmark DXN038848
- [2] Haas, A.; Bauer, H.; Lerch, J; Mihsein, M; Hall, R., Production integrity for hydroforming products by using FEA Techniques, 3. European LS-DYNA Users Meeting, 2001
- [3] Scherer, H.; ZF 6-Speed Automatic for Passenger Cars, Transmission & Driveline Systems Symp., SAE 2003 World Congress, 2003
- [4] Bessert, N.; ABAQUS, das fehlende Glied in der virtuellen Prozesskette, ABAQUS Benutzerkonferenz, 2003
- [5] Wieser, J.; Einführung in die CAx-Kette bei BMW, Diplomarbeit, Fachhochschule Aalen, 2003
- [6] Haufe, A.; Berücksichtigung von Blechumformergebnissen in der Crashberechnung, 3. LS-DYNA Forum, 2004

