

Eine Kulturtechnik im Rechner

VOM EINSATZ DER VIRTUELLEN PROZESSSIMULATION IN DER UMFORMTECHNIK

»Fehler sind menschlich!«

heißt es. Bei der Produktion im Maschinenbau sind Fehler allerdings nicht nur menschlich, sondern vor allem teuer. Wissenschaftler vom Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) schildern, wie anhand von computer-gestützten Prozesssimulationen Fehler erkannt und behoben werden können, noch bevor das erste Werkzeug für die Produktion hergestellt wird.

Die Umformtechnik – ein Stützpfiler des Maschinenbaus

Die Metallindustrie sowie der Maschinenbau beschäftigten im Jahr 2010 deutschlandweit 2,4 Millionen Arbeitnehmer und erwirtschafteten einen Gesamtumsatz von 811 Milliarden Euro [Des13]. Somit bilden diese beiden Bereiche das Grundgerüst der deutschen Industrie. Die Umformtechnik ist dabei eine, wenn nicht sogar die größte Schlüsseltechnologie und ein wichtiger Stützpfiler. Die Anwendungsgebiete bei der Herstellung von Produkten mit Hilfe der Umformtechnik sind vielfältig und erstrecken sich von kleinen Blechelementen über Zahnräder, Kurbelwellen, PKW-Türen bis hin zu großen Bauteilen für den Schiffs- oder Flugzeugbau. In Abbildung 1 sind einige beispielhafte Bauteile dargestellt.

Die Herstellung dieser Produkte ist zumeist äußerst schwierig, da die Abläufe und Prozesse komplex und vielfältig sind. Diese wurden bis vor einigen Jahren noch von lang-jährigen Mitarbeitern und deren Erfahrungswissen geplant und nach dem Motto »Versuch macht klug« so lange verbessert, bis irgendwann das gewünschte Produkt entstand. In der heutigen Zeit sind die Zyklen, in denen neue Produkte auf den Markt gebracht werden müssen, allerdings so



kurz, dass die Produktentwicklung grundlegend verändert wurde. Heutzutage findet nahezu die gesamte Forschung und Entwicklung am Computer statt. Modernste Softwaresysteme und Spezialisten auf dem Gebiet der computer-gestützten Ingenieurwissenschaften entwerfen neue Produkte, legen die Herstellungsprozesse aus und konstruieren die notwendigen Werkzeuge. Noch bevor jedoch das erste Werkzeug tatsächlich gebaut wird, wird der gesamte Produktionsablauf virtuell simuliert und überprüft, um mögliche Fehler, die bei der Entwicklung gemacht wurden, zu erkennen und zu beheben. Im Folgenden werden einige Beispiele von Produktionsfehlern, wie sie in der Umformtechnik regelmäßig auftreten, vorgestellt und gezeigt, wie sie mit Hilfe der virtuellen Prozess-

simulation eliminiert werden können.

Beispiele aus der Blechumformung

Das Tiefziehen ist eines der wichtigsten Blechumformverfahren, mit dem Formteile für den Karosserie-, Nutzfahrzeug- und Flugzeugbau, aber auch viele Produkte der Konsumgüterindustrie gefertigt werden. Daher ist eine exakte und fehlerfreie Ausführung dieser Bauteile von großer Bedeutung. Ein Tiefziehwerkzeug besteht in der Regel aus einem Stempel, einer Ziehmatrize sowie einem Niederhalter (Abbildung 2). Dabei wird eine Blechplatte zunächst zwischen Ziehmatrize und Niederhalter eingespannt. Durch den Stempel wird die Platine in die Matrize gezogen und durch diese ausgeformt.

Abbildung 1
Produkte aus der Blech- (links)
und Massivumformung (rechts)

Als wesentliche Versagens- bzw. Fehlerarten in der Blechumformung im Allgemeinen und beim Tiefziehen speziell sind Reißen, Falten 1. und 2. Art, Oberflächenfehler sowie unzureichende Maßhaltigkeit (Blechdickenschwankungen, Rückfederung) zu nennen (Abbildung 3) [Doe10]. Reißen stellen hierbei die häufigste Ursache für Ausschuss von Tiefziehteilen dar. Sie entstehen meist in Kombination mit einer Blechdickenabnahme.

Für eine einfache Napfgeometrie wird in Abbildung 4 die numerisch ermittelte Blechdickenverteilung gezeigt. Bei einer Niederhalterkraft von 500 kN stellt sich eine unzureichende minimale Blechdicke im Eckbereich von 0,66 mm ein, die bei einem Realbauteil zum Versagen führt. Bei Absenkung der Niederhalterkraft auf 250 kN kann ein fehlerfreies Bauteil hergestellt werden. Eine Übertragung dieser Vorgehensweise kann

rungsdiagramm (Forming Limit Diagram, FLD), welches im industriellen Umfeld Anwendung findet. Moderne spannungsabhängige Kriterien werden derzeit weitestgehend im akademischen Umfeld eingesetzt. Die Entwicklung und Validierung dieser Modelle ist unter anderem ein Forschungsschwerpunkt im Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover (LUH).

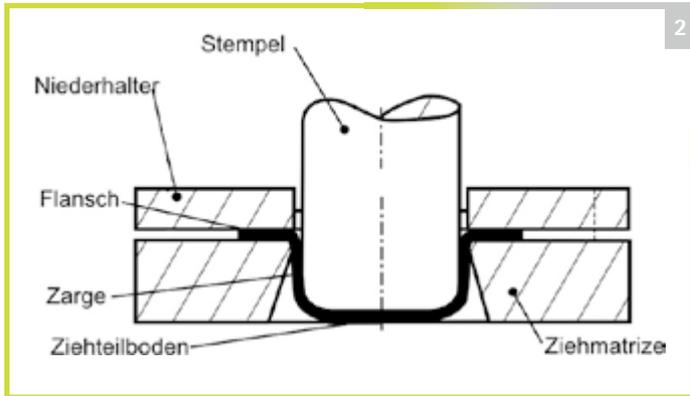


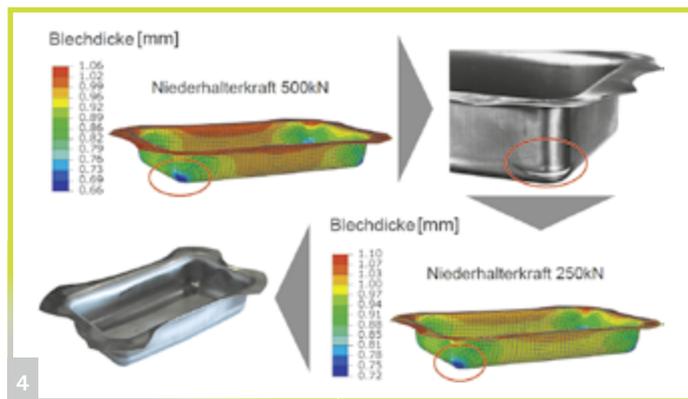
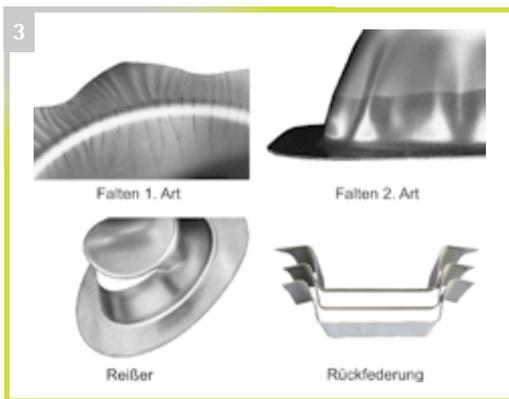
Abbildung 2 Schematischer Aufbau eines Tiefziehwerkzeugs [Doe10]

Falten als nächsthäufige Versagensart können im Verlauf von Tiefziehvorgängen im Flansch (Falten 1. Art) auftreten. Sie entstehen bei nicht ausreichender Niederhalterkraft und bilden lokal kleine Falten aus. Diese werden zwar durch die Ziehringrundung weitgehend wieder geglättet, allerdings nur unter Inkaufnahme eines erhöhten Werkzeugverschleißes und einer Verschlechterung der Oberflächenqualität des Ziehteils [Som86]. Das heißt für den Prozess, dass nur ein bestimmtes Prozessfenster für die Niederhalterkraft verwendet werden kann. Die numerische Identifikation dieser Versa-

Für diese Fehlerart bietet die Numerik eine wirkungsvolle Vorhersagemöglichkeit. Mit Hilfe der Finite-Element-Methode (FEM) können die

auch auf komplexe Blechbauteile erfolgen. Gerade bei modernen Hochleistungsstählen ist die Vorher-

Abbildung 3 Versagensarten in der Blechumformung [Doe10]



sich in Abhängigkeit der Prozessparameter einstellenden Größen wie beispielsweise Blechdicken- und Spannungsverteilung im Vorfeld der zeit- und kostenintensiven experimentellen Versuche berechnet werden.

sage von Reißen eine komplexe Angelegenheit. Hier werden sowohl spannungs- als auch dehnungsabhängige Schädigungskriterien entwickelt und eingesetzt. Zu den dehnungsabhängigen Kriterien zählt das Grenzformände-

gensart wird in Abbildung 5 dargestellt. Die Rückfederung als ein weiterer Fehler bei Blechwerkstoffen ist auf die elastische Deformation während der Entlastung zurückzuführen.

Abbildung 4 Optimierung der Blechdickenverteilung durch Variation der Niederhalterkraft

Obwohl die damit verbundenen Geometrieänderungen in der Regel klein sind, besteht die Gefahr, dass die von Handhabungseinrichtungen tolerierbaren Abweichungen überschritten werden. Insbesondere bei der Umformung von modernen hochfesten Stählen, deren Anwendungsbereich stetig wächst, treten hohe Rückfederungen auf. Bei diesen Stählen lässt sich das Rückfederungsverhalten

Abbildung 5
Numerische Detektion von Falten
1. Art

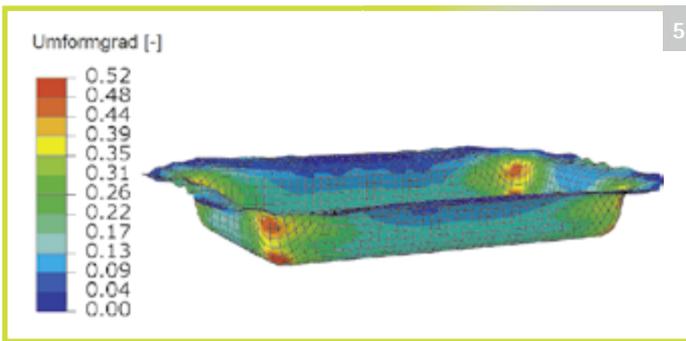


Abbildung 6
Rückfederung in der Realität und in der Simulation

Abbildung 7
Produktionsanteile der Massivumformung für das Jahr 2011
Quelle: Industrieverband Massivumformung »IMU«

Abbildung 8
Schmiedeteil mit Faltenbildung
[Woh10, Beh11, Bou12]

durch eine einmalige Kompensationsberechnung nicht in allen Fällen beherrschen. Die schwankenden Bedingungen in der Produktion und der Herstellung dieser Stähle zwingt die verarbeitende Industrie zu immer ausgefeilteren Produktions- und Prozessauslegungsmethoden [Beh13]. Dabei hat sich die numerische Simulation als ein hervorragendes Werkzeug für die Prozessauslegung bewährt und ist in vielen Bereichen zu einem Standardwerkzeug geworden (Abbildung 6).

Beispiele aus der Massivumformung

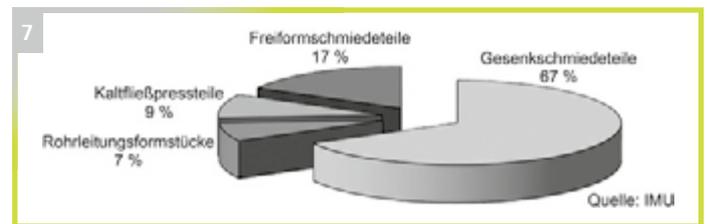
Die Massivumformung bedeutet im Allgemeinen die bildsame Formgebung von Rohteilen, die im Gegensatz zur Blechumformung in allen drei Raumrichtungen erfolgt. Während des Massivumformvorgangs liegt im Bauteil ein dreiachsiger Spannungszustand vor [Doe10].

In Abbildung 6 sind die Produktionsanteile der Massivumformung für das Jahr 2011 dargestellt. Wie hier deutlich zu erkennen ist, haben die Gesenkschmiedeteile mit 67 Prozent den größten Anteil an der Produktion von Massivumformprodukten. In Abbildung 1 sind einige Gesenkschmiedeteile abgebildet.

Im Hinblick auf die Forderung verkürzter Entwicklungszeiten führt die numerische Berechnung von Gesenkschmiedeprozessen mittels der FEM zur Reduzierung bzw. Vermeidung

diesem Beitrag wird die numerische Abbildung von Schmiedefalten exemplarisch betrachtet. In Abbildung 8 ist ein Realbauteil gezeigt, bei dem es zu erheblicher Faltenbildung kommt.

Die Prozessberechnung mittels FEM führt zu einer sehr realitätsnahen Abbildung des Materialflusses und somit der Falte (Abbildung 9). Hierbei war eine genaue Beschreibung der Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück mit Hilfe des innovativen IFUM-Reibmodells erforderlich.



dung aufwändiger und zeitintensiver Vorserienversuche. Mit Hilfe der FE-Simulationen können die Schmiedeprozesse im Hinblick auf fehlerfreie Bauteile ausgelegt werden. Wesentliche Fehlerarten hierbei sind Schmiedefalten, Reißen sowie unzureichende Maßhaltigkeit aufgrund des Verzug bei der Abkühlung. In

Zusammenfassung

Die FEM ist heutzutage ein etabliertes Werkzeug in der Umformtechnik, das bei der Auslegung und Optimierung von Umformprozessen nicht mehr wegzudenken ist. Mit ihrer Hilfe können mögliche Fehler in den umformtechnisch zu fertigenden Bauteilen eliminiert werden, bevor überhaupt die Werkzeuge gefertigt werden. Mittlerweile kann sogar die Werkzeugstandmenge – also die Frage, wie viele Umformzyklen die Werkzeuge schaffen können bis zum Versagen durch Rissbildung oder Verschleiß – zuverlässig mittels FEM vorhergesagt werden.



Dr. Anas Bouguecha

ist seit dem Abschluss seines Maschinenbaustudiums an der Universität Hannover im Jahr 2003 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) in Hannover. Er promovierte 2007 am IFUM und leitet dort seit 2008 die Abteilung »Numerische Methoden«. Kontakt: bouguecha@ifum.uni-hannover.de



Christian Bonk

Jahrgang 1986, ist seit dem Abschluss seines Maschinenbaustudiums an der Leibniz Universität Hannover in 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFUM. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Schädigungscharakterisierung von Blechwerkstoffen sowie das Scherschneiden. Kontakt: bonk@ifum.uni-hannover.de



Professor Bernd-Arno Behrens

studierte Maschinenbau an der Universität Hannover und promovierte am IFUM. Er war zuvor in leitenden Funktionen bei der Salzgitter AG tätig. Seit Oktober 2003 ist er Leiter des IFUM. Ferner leitet Herr Professor Behrens die Materialprüfanstalt (MPA) Hannover für Werkstoffe und Produktionstechnik und ist geschäftsführender Gesellschafter am Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH). Kontakt: behrens@ifum.uni-hannover.de

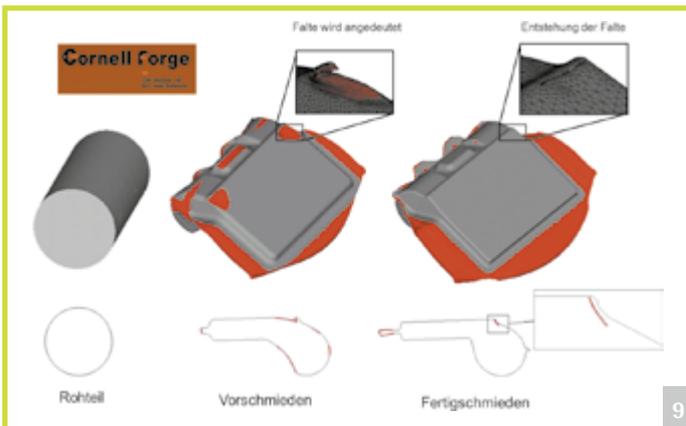


Abbildung 9
Simulierte Prozessfolge
[Woh10, Beh11, Bou12]

Literatur

- [Des13] Statistisches Bundesamt, 2013
- [Beh11] Behrens, B.-A., Bouguecha, A., Mielke, J., Schafstall, H.: Innovative Reibmodellierung in der Warmmassivumformung, in: Umformtechnik – Innovationen aus Industrie und Wissenschaft, Hrsg. B.-A. Behrens, 20. Umformtechnisches Kolloquium Hannover, S. 199–211, 2011
- [Beh13] Behrens, B.-A.; Bouguecha, A.; Götze, T.; Hadifi, T.; Bonk, Ch.: Reproduzierbare Auswertung zur automatisierten Ermittlung der Rückfederung von Hutprofilen, UTF Science, Meisenbach Verlag Bamberg, 1/2013
- [Bou12] Bouguecha A., Hadifi T., Mielke J., Behrens B.-A.: Erhöhung der Berechnungsgenauigkeit bei der numerischen Abbildung von Warmmassivumformprozessen durch verbesserte Reibmodellierung, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Volume 43, No 10, 2012, S.839–850, ISSN: 0933-5137
- [Doe10] Doege E., Behrens B.-A. (2010): Handbuch Umformtechnik, 2. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg
- [Som86] Sommer, N. (1986); Niederhalterdruck und Gestaltung des Niederhalters beim Tiefziehen von Feinblechen, Dissertation, Universität Hannover
- [Woh10] Wohlmut, M., Schafstall, H.: Neueste Entwicklungen in der Reibmodellierung von Massivumformprozessen, XXIX. Verformungskundliches Kolloquium Planneralm, S. 119–124, 2010