

Untersuchung der Stößelführungsbelastung an Pressen

Sergej Teichrib*, Valerian Salfeld, Richard Krimm und Bernd-Arno Behrens

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM)

Leibniz Universität Hannover

30823 Garbsen, Deutschland

*teichrib@ifum.uni-hannover.de

Kurzfassung – Die Pressenstößelführung hat einen entscheidenden Einfluss auf die Arbeitsgenauigkeit der Maschine sowie auf die Qualität der herzustellenden Bauteile. Um eine anwendungsangepasste Auslegung der Stößelführung hinsichtlich der Präzision und Standzeit bereits während der Entwicklungs-, bzw. Konstruktionsphase der Presse zu ermöglichen, bedarf es eingehender Kenntnisse der prozessspezifischen Führungsbelastungen. Diese Arbeit befasst sich mit der sowohl experimentellen als auch simulationsgestützten Ermittlung der aus dem Prozess auf die wälzlagerbasierten Stößelführungen wirkenden Horizontalkräfte einer Exzenterpresse. Hierfür wurde ein Modell zur Abbildung der Stößelverlagerung entwickelt. Die Ergebnisse zeigen, dass mittels des Modells die Belastungen in guter Annäherung vorhergesagt werden können.

Schlüsselwörter: Umformmaschine, Mehrkörpersimulation, Horizontalbelastung

1 Einleitung

Um die im Umformtechnikbereich stetig ansteigenden Anforderungen an die Werkstückqualität sicherzustellen, bedarf es detaillierter Kenntnisse hinsichtlich der Arbeitsgenauigkeit der Umformpresse selbst. Da jede Umformmaschine eine endliche Steifigkeit aufweist, kommt es während des Umformprozesses zu einer elastischen Verformung der im Kraftfluss befindlichen Pressenbaugruppen. Einen wesentlichen Einflussfaktor auf die Prozesssicherheit stellt hierbei die Genauigkeit der Führungsachsen des Pressenstößels dar [1].

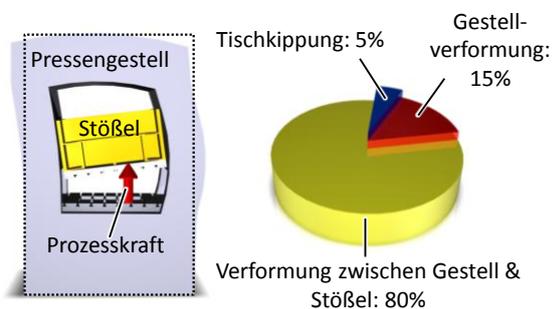


Bild 1: Anteile einzelner Pressenkomponenten an der elastischen Stößelverlagerung [2]

Insbesondere bei außerordentlich hohen Prozesskräften am Stößel, welche beispielsweise bei der Her-

stellung von asymmetrischen Bauteilen auftritt, müssen die Stößelführungen hinsichtlich des Kraftaufnahmevermögens sowie des Steifigkeitsverhaltens hinreichend dimensioniert werden. Insbesondere die nichtlineare Anfangsverlagerung des Stößels gegenüber dem Pressentisch hat einen entscheidenden Einfluss auf die Fertigungsgenauigkeit der Umformteile, aber auch auf die Standmenge des Umformwerkzeugs. Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass den größten Anteil an der horizontalen Stößelverlagerung mit etwa 80% die Stößelführung trägt (Bild 1) [2].

Weisen diese asymmetrischen Bauteile horizontale Nebenformelemente auf, deren Herstellung Querkräfte im Werkzeugeinbaureaum hervorruft, so muss mit einem höheren Stößelversatz und hiermit Führungsbelastung gerechnet werden. Bei der Umformung kann bereits eine geringe seitliche Stempelbelastung aufgrund der horizontalen relativen Verlagerung zwischen dem Ober- und Unterwerkzeug zu Werkzeugbrüchen führen [3].

Vor diesem Hintergrund muss eine lastangepasste Auslegung der Stößelführungen einer Umformpresse sichergestellt werden. Konventionell werden vorwiegend Gleitführungen als Pressenstößelführungen eingesetzt, insbeson-

dere in Pressen höherer Umformnennkraft. Sie zeichnen sich durch ihre hohe Robustheit und dementsprechend hohe Lebensdauer aus. Zusätzlich lassen sich Gleitführungen konstruktiv einfach gestalten und herstellen und bieten ein hohes Dämpfungsvermögen, um Stößelschwingungen, resultierend aus dem Umformprozess, zu begrenzen [4]. Gleichzeitig sind sie weniger empfindsam gegen hohe Spannungsspitzen, welche typisch für stoßartige Belastungen während des Umformprozesses sind. Prinzipbedingt besitzen Gleitführungen jedoch stets ein gewisses Führungsspiel im Bereich von 0,17 mm je Führungswagen [5], aufgrund des hydrostatischen Gleitfilms zwischen dem Schlitten und der Gleitschiene. Dieses Spiel führt zu einer relativ hohen Anfangsverlagerung während des Umformprozesses quer zur Bewegungsrichtung des Stößels und wirkt sich aufgrund der höheren Horizontalbelastung unmittelbar nachteilig auf die Werkstückqualität sowie die Werkzeugstandzeit aus [6].

Um die Führungsgenauigkeit und die Kippsteifigkeit des Pressenstößels zu erhöhen, werden vermehrt Wälzlagerführungen vorgesehen. Diese sind aufgrund ihrer Vorspannung spielfrei ausgeführt und besitzen im Vergleich zu den Gleitführungen deutlich günstigere Laufeigenschaften, sodass die horizontale Stößelverlagerung bis auf wenige Mikrometer begrenzt werden kann (Bild 2). Zu den am häufigsten eingesetzten Wälzlagerführungen gehören die Kugelbuchsen- sowie Laufrollenführungen. Bei langsam laufenden Pressen kommen vermehrt Profilschienenführungen (PSF) zum Einsatz [6]. Das Einsatzspektrum der Wälzlagerführungen ist derzeit vorwiegend auf Pressen geringerer Nennkräfte beschränkt, aufgrund der begrenzten Steifigkeit der Kugeln, bzw. Rollen sowie deren Empfindlichkeit gegenüber den im Umformtechnikbereich typischen stoßartigen Belastung während des Umformprozesses. Mit der Entwicklung größerer Baureihen und der damit einhergehenden Erhöhung der Tragfähigkeit sowie Lebensdauer von Wälzführungen wird deren Einsatz auch für große Pressenkräfte zunehmend interessanter. Damit eine lastangepasste Auslegung der Stößelführung möglich ist, bedarf es jedoch eingehender Kenntnisse der aus dem Prozess wirkenden horizontalen Beanspruchung, um anschließende Optimie-

rungsmaßnahmen hinsichtlich der Führungswahl und auch konstruktiven Gestaltung, bzw. Anordnung bereits während der Konzeptionsphase der Presse treffen zu können. Dafür müssen diese Kräfte bereits im Vorfeld ermittelt werden.

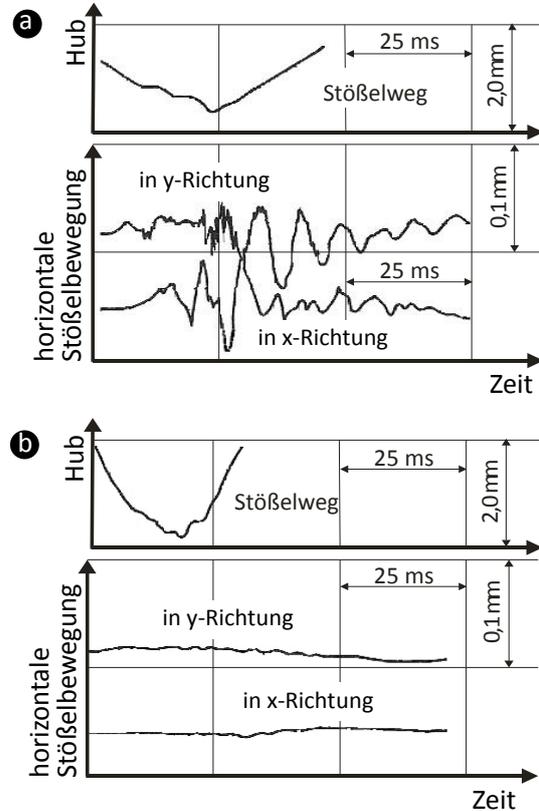


Bild 2: Horizontale Stößelverlagerung bei a) gleit- und b) wälzlagergeführtem Stößel [7]

2 Lösungsansatz

Vor diesem Hintergrund wurden am IFUM im AiF Projekt IGF 16448 N die horizontalen Beanspruchungen an Stößelführungen sowohl experimentell als auch simulationsgestützt mittels eines Mehrkörper - Modells (MKS-Modell) an einer am Institut vorhandenen Versuchspresse untersucht (Bild 3). Diese ist eine mechanische Exzenterpresse mit einer Nennkraft von 1.600 kN. Die Führung des Pressenstößels besteht aus insgesamt acht Profilschienenwagen, welche seitlich zwischen dem Pressenrahmen und dem Stößel angeordnet sind. Zur Generierung des Simulationsmodells wurde die Software LMS Virtual.Motion Lab eingesetzt. Das Ziel der Untersuchungen war die Entwicklung und Validierung des Modells zur Vorher-

sage von prozessspezifischen Lastkollektiven an den Führungen. Ein wesentlicher Vorteil der MKS besteht in der Möglichkeit, auch dynamische Prozesse virtuell abzubilden. Aus Untersuchungen ist bekannt, dass hinsichtlich des Steifigkeitsverhaltens einer Umformpresse, je nachdem ob ein statischer oder ein dynamischer Prozess betrachtet wird, erhebliche Unterschiede existieren. Dies ist im Wesentlichen auf die Massenträgheiten der zu bewegenden Pressenbauteile zurückzuführen [8].

Zur virtuellen Abbildung der Versuchspresse dienen die herstellerseitigen Konstruktionsdaten. Um die aus dem Prozess resultierenden Verlagerungen an den Führungen sowie die entstehenden Horizontalkräfte zu ermitteln, wurden die elastischen Eigenschaften der Führungen und der Presse berücksichtigt.

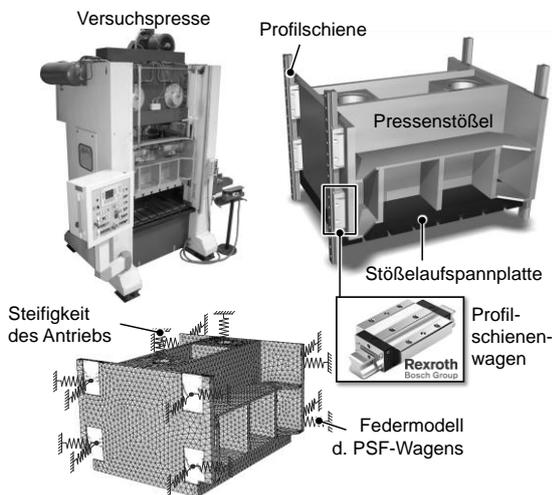


Bild 3: Versuchspresse und die Lagerung des Stößels im MKS Modell

Aufgrund der hohen Komplexität der Profilschienenführungswagen und der Vielzahl an vorhandenen Komponenten, insbesondere der Rollenlager, wurden die Führungswagen zur Reduzierung des Modellierungs- und Rechenaufwands vereinfacht als Federelemente (Bild 3) modelliert. Die für die Federn erforderlichen nichtlinearen Steifigkeitsangaben der in der Versuchspresse eingebauten Profilschienenführungen wurden gemäß dem Produktdatenblatt zugewiesen. Hierbei war die Beachtung der richtungsabhängigen Steifigkeit zwingend erforderlich. Aufgrund des u-förmigen Aufbaus des Führungswagens besitzt dieser bei einer Druckbelastung eine im Gegensatz zur Zugbe-

lastung höhere Steifigkeit.

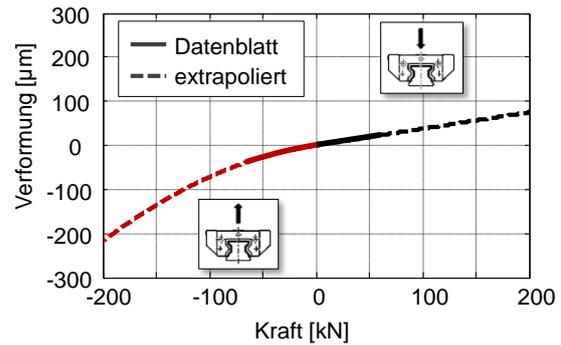


Bild 4: Modellierung der Stößelführung als Federelement

3 Versuchsaufbau

Mit dem Ziel, Kenntnisse bezüglich der Belastungen der Führung infolge von Horizontalkräften zu gewinnen sowie die Rechengenauigkeit des Modells vorherzusagen, wurden experimentelle Belastungsuntersuchungen an der Versuchspresse durchgeführt. Die aus den praktischen Versuchen messtechnisch erfassten Horizontalkräfte wurden anschließend in die Simulation implementiert, sodass identische Belastungszustände vorlagen.

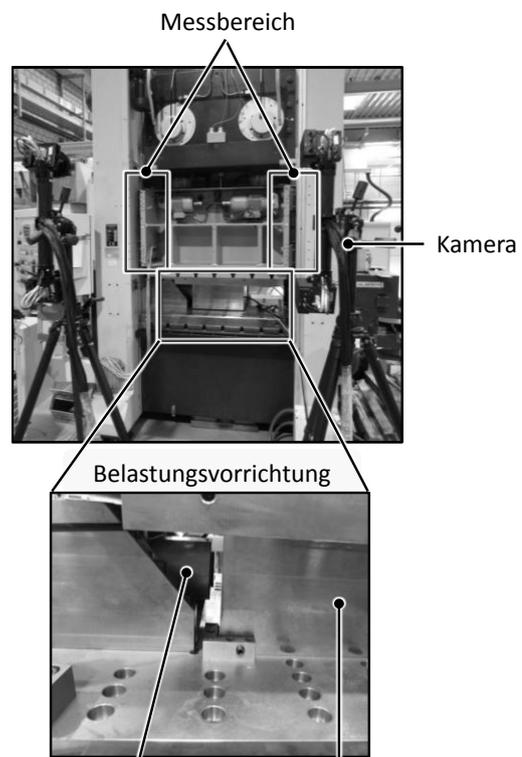


Bild 5: Versuchsaufbau zur horizontalen Stößelbelastung

Zur Untersuchung des horizontalen Steifigkeitsverhaltens der Versuchspresse und dem Abgleich mit der Simulation wurde eine Vorrichtung eingesetzt, mit welcher mittels eines kraftgeregelten Hydraulikzylinders Querkräfte von bis zu 400 kN auf den Stößel aufgebracht wurden (Bild 5). Die Krafteinleitung mittels des Zylinderkolbens erfolgt hierbei auf einen massiven Metallblock, welcher mittig an den Stößel montiert wird. Begleitend zur Krafteinleitung wurde seitlich des Stößels die Verlagerung vom Pressengestell sowie dem Stößel im Bereich der einzelnen Führungselemente gemessen. Hierfür wurde ein optisches Verlagerungsmesssystem Pontos HS der Firma GOM eingesetzt. Mittels des Messsystems können Verlagerungen mit einer vom Messvolumen abhängigen Auflösung etwa 5 µm erfasst werden.

4 Ergebnisse und Validierung

Die Verlagerungen einzelner Pressenkomponenten im Bereich der Stößelführung infolge der über die Belastungsvorrichtung aufgebrachten Querkräfte wurden in Abhängigkeit der Horizontalkraft messtechnisch erfasst. In Bild 6 ist das Ergebnis aus der Verlagerungsmessung bei einer maximalen horizontalen Belastung von 400 kN vektoriell dargestellt, welches mit-

tels des optischen Messsystems aufgenommen worden ist. Zur Identifikation der jeweiligen Führungsbelastung wurden die Verlagerungen des Pressenrahmens sowie der äußeren Stößelwand in x-Richtung gemessen. Durch Bildung der Differenz können im Anschluss die Verformungen der jeweiligen Führungswagen und indirekt die Belastungen mittels der Steifigkeitskennlinie der montierten Profilschienenführung ermittelt werden. Aus der Momentaufnahme wird ersichtlich, dass der Stößel aufgrund der Momenteinleitung mittels der Belastungsvorrichtung eine Kippung um einen Drehpunkt ausführt, der sich geringfügig oberhalb des Stößels befindet. Demzufolge werden die oberen Führungen kaum beansprucht, da sich diese in der Nähe des Kipppunkts des Stößels befinden. Dementsprechend besitzen diese einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die maximale horizontale Stößelverlagerung. Im Gegensatz dazu erfahren die unteren Führungswagen eine deutlich größere Verschiebung in Belastungsrichtung. Zur Bestimmung der in diesen Führungen wirkenden Kräfte wurde die mittlere elastische Verformung der einzelnen Führungen unter Differenzbildung der Stößel- und Pressengestellverlagerung bestimmt (Bild 7).

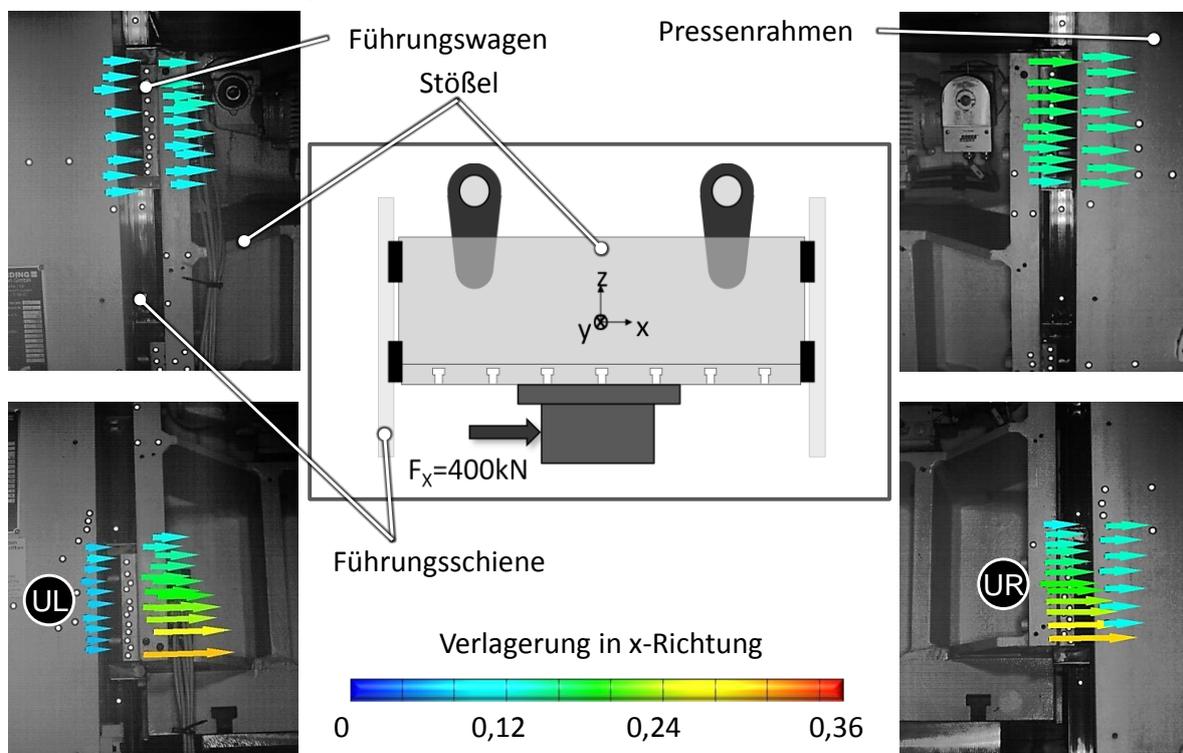


Bild 6: Verlagerung der Stößelführung unter horizontaler Belastung

Aufgrund der richtungsabhängigen Steifigkeit wird der unter Zugbelastung stehende untere linke Führungswagen im Vergleich zum gegenüberliegenden Wagen mit 160 μm doppelt so hoch elastisch verformt. Die daraus resultierenden Horizontalkräfte betragen 165 kN beim unteren linken Führungswagen. Trotz der geringeren Verformung wird der Wagen unten rechts mit 45 kN mehr belastet, zurückzuführen auf die deutlich höhere Steifigkeit des PSF-Wagens bei einer Druckbelastung. Die in Bild 7 aufgeführten Führungswagenbelastungen konnten mittels der Simulation in einer guten Näherung vorausberechnet werden. Vor dem Hintergrund, dass das MKS-Modell der Presse allein auf Konstruktionsdaten basiert, bei welchem Maßabweichungen im Rahmen der Fertigungstoleranzen nicht berücksichtigt werden, ist das Ergebnis in einem zufriedenstellenden Bereich. Die Vorhersagegenauigkeit kann verbessert werden indem die Eigenschaften des Modells an die Messdaten aus dem Experiment angepasst werden.

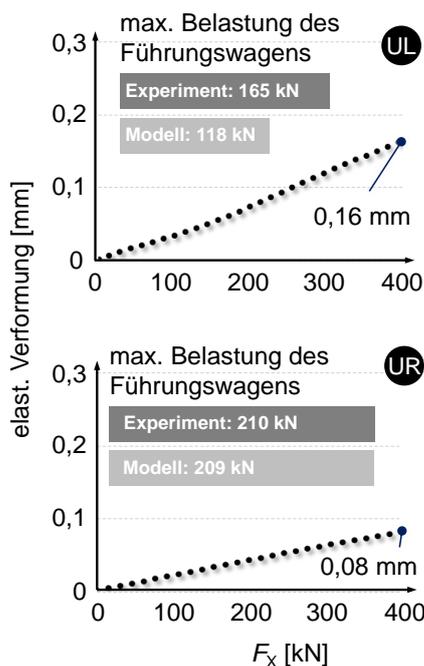


Bild 7: Relative Verlagerung in x-Richtung der Führungswagen und resultierende Horizontalkraft

Mit der Integration von Kraftmessringen, mit auf dem Umfang applizierten Dehnungsmessstreifen, wurden die stark ungleichmäßigen wirken-

den Belastungen infolge der Stößelkippung, insbesondere auf die unteren Führungswagen, näher untersucht. Hierbei wurde unter jede der insgesamt sechs Schraubenverbindungen des unter Zugkraft beanspruchten Führungswagens ein Kraftmessring integriert (Bild 8).

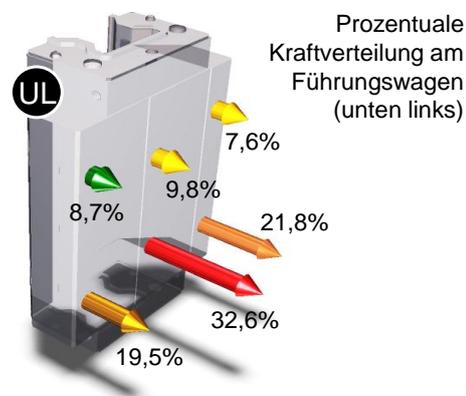
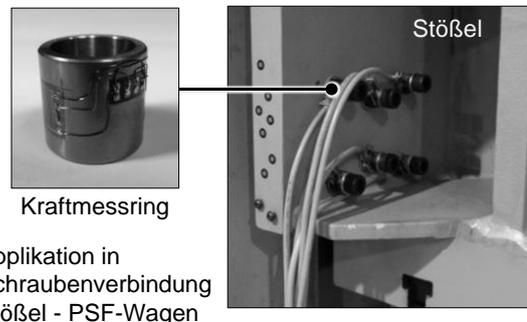


Bild 8: Messprinzip und prozentuale Kraftverteilung auf unteren linken Führungswagen

Dadurch war es möglich die Kraftverteilung auf den Führungswagen über der gesamten Auflagefläche des Führungswagens zu ermitteln. Die dort aufgeführte prozentuale Kraftverteilung auf die einzelnen Schraubenverbindungen bezieht sich auf die mittlere Gesamtkraft, welche auf den unteren linken Führungswagen der Pressenvorderseite wirkt. Aufgrund der Stößelkippung erfährt der untere Teil des Führungswagens eine Mehrbelastung von 50 % - 70 % gegenüber dem oberen Bereich. Zudem zeigt sich, dass auf die Schraubenverbindungen der Wagenmitte ebenfalls eine höhere Zugkraft wirkt. Dies ist auf den konstruktiven u-förmigen Aufbau des PSF-Wagens zurückzuführen, welcher sich im Fall einer Zugkraft wölbt und entsprechend im Randbereich eine höhere Nachgiebigkeit aufweist. Die stark ungleichmäßige Kraftverteilung auf die Stößelführung führt

in der Praxis zu einer reduzierten Standzeit der unteren Führungswagen. Im Umkehrpunkt der Stößelbewegung wird zudem bei einem immer wiederkehrenden Umformprozess die Profilschiene stets im selben Kontaktbereich mit den unteren Wagenrollen beansprucht. Demzufolge tritt in diesem Bereich der Schiene ein deutlich schneller Verschleiß ein. Dieser ungleichmäßigen Horizontalbelastung muss während der Auslegung der Stößelführung unbedingt Rechnung getragen werden, um einen präzisen und langjährigen Betrieb der Presse sicherzustellen. Mit dem hier vorgestellten MKS-Pressenmodell können die prozessspezifischen horizontal wirkenden Führungskräfte berechnet werden. Demzufolge kann bereits während der Entwicklungs-, bzw. Konstruktionsphase der Presse eine für den vorgesehenen Anwendungsfall optimale Auswahl der Führungsanordnung als auch -art und -baugröße getroffen werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellten Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Optimierte Auslegung und Überwachung von Stößelführungen mit Wälzlager mit einem neuartigen Kraftmesssystem“ wurden die Horizontalkräfte auf die Wälzlagerführungen einer mechanischen Exzenterpresse sowohl simulationsgestützt als auch experimentell ermittelt. Die mit der Mehrkörpersimulation zuvor berechneten Beanspruchungen an den Stößelführungen weisen eine hinreichende Genauigkeit zu den optisch erfassten Messergebnissen auf. Es konnte aufgezeigt werden, dass die unteren Führungswagen deutlich höhere Prozesskräfte aufnehmen. Diese ungleichmäßige Belastungsverteilung wirkt sich wiederum negativ auf die Standzeit aus. Die an der oberen Stößelhälfte angeordneten Führungswagen werden hingegen kaum beansprucht. Mit der Kenntnis der aus dem Prozess wirkenden Horizontalkräfte auf die Stößelführung kann mit Hilfe eines MKS Modells eine hinsichtlich der Führungsgenauigkeit und dem Kraftaufnahmevermögen optimierte Auswahl getroffen werden.

6 Danksagung

Das IGF-Vorhaben 16448 N/1 der Europäischen Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung (EFB) e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren danken der AiF und der EFB für die Förderung. Weiterer Dank gilt den Mitgliedsunternehmen des projektbegleitenden Ausschusses und Ihren Vertretern für die Unterstützung des Projektes und die gute Zusammenarbeit.

Literatur

- [1] Doege, E.: Einfluss des Systems Werkzeug/Umformmaschine auf die Fertigungsgenauigkeit bei der Blechumformung. EFB Forschungsbericht Nr. 4. Hannover: EFB Verl., 1981
- [2] Doege, E.; Bockel, G.; Mohagheghi, D.; Harnisch, M.: Einfluss der Umformmaschine auf die Werkstückgenauigkeit. HFF-Bericht Nr. 6, Hannoversches Forschungsinstitut für Fertigungsverfahren e.V., Hannover, 1980
- [3] Ahrens, M.: Ermittlung der Belastungskräfte zur Auslegung von Stößelführungen mit Profilschienen. Dissertation, Universität Hannover, IFUM, 2009
- [4] Ispaylar, M. H.; Stave, H.: Untersuchungen von Wälzführungen zur Verbesserung des statischen und dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen. In: VDW Forschungsberichte, Report 0153, 1992
- [5] N. N.: Handbuch der Umformtechnik - SCHULER GmbH. Berlin: Springer Verlag, 1996
- [6] Behrens, B. A.; Ahrens, M.; Großmann, K.; Neidhardt, L.: Einsatz von Profilschienenführungen (PSF) als Stößelführung an Pressen. Abschlussbericht Nr. 13083BG. IFUM, IWM, 2004
- [7] Spur, G.; Schmoeckel, D.: Handbuch der Fertigungstechnik. Band 2/3: Umformen und Zerteilen, Carl Hanser Verlag, 1985
- [8] Bogon, P.: Einflussgrößen auf die dynamische Federung von Exzenterpressen, Dissertation, Universität Kassel, 1991