

# Dämpfung der Stößelschwingungen beim Scherschneiden mittels piezoelektrischer Aktoren

Prof. Dr.-Ing. B.-A. Behrens, Dr.-Ing. R. Krimm  
Dipl.-Ing. T. Hasselbusch<sup>a</sup>

Leibniz Universität Hannover, Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen,  
An der Universität 2, 30823 Garbsen, Deutschland

<sup>a</sup>hasselbusch@ifum.uni-hannover.de

M. Sc. M. Weinstein<sup>b</sup>, Dr.-Ing. J. Twiefel, Prof. Dr.-Ing. J. Wallaschek

Leibniz Universität Hannover, Institut für Dynamik und Schwingungen,  
Appelstraße 11, 30167 Hannover, Deutschland

<sup>b</sup>weinstein@ids.uni-hannover.de

**Schlagwörter:** Scherschneiden, Schwingungen, Schnit Schlag, Dämpfung, Piezoaktoren

## Kurzfassung

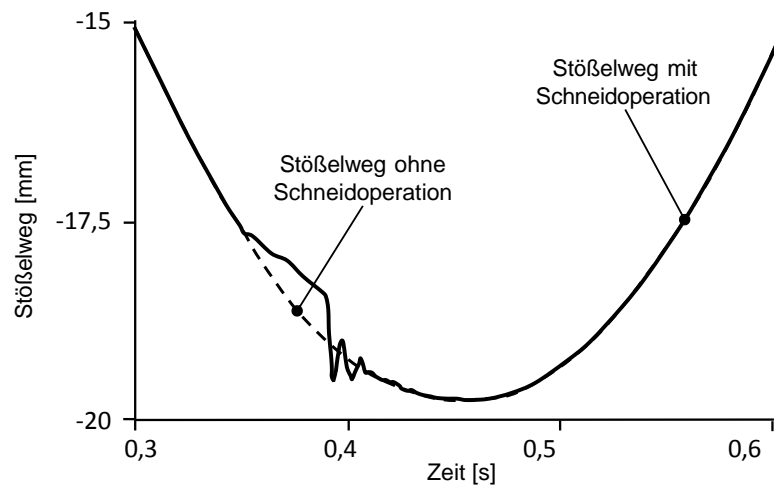
Beim Scherschneiden treten Schwingungen auf, die im Wesentlichen auf die schlagartige Entspannung der vorgespannten Pressenstruktur zum Zeitpunkt der Materialtrennung zurückzuführen sind. Die Folgen der Schwingungen sind ein erhöhter Verschleiß am Stempel, eine begrenzte Standmenge des Werkzeugs und negative Auswirkungen auf die Schnittkantenqualität der Bauteile. Zur Reduzierung der entstehenden Schwingungen können aktive oder passive Dämpfungssysteme eingesetzt werden. Das Institut für Umformtechnik und Umformmaschine (IFUM) der Leibniz Universität Hannover erforscht in Zusammenarbeit mit dem Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) zwei neuartige Lösungsansätze zur Minimierung der durch den Schneidprozess angeregten Schwingungen unter Zuhilfenahme von piezoelektrischen Aktoren.

## Einführung

Das Scherschneiden hat sich als Verfahren zum spanlosen Trennen in der Blechverarbeitung oft bewährt und wird zur kostengünstigen Produktion von Bauteilen in hohen Stückzahlen verwendet. In der Praxis werden die Stanzteile in großen Mengen auf Schnellläuferpressen mit bis zu 1.000 Hüben pro Minute hergestellt. Infolge der Reibung des Werkzeugs am Werkstück verschleiben die Flächen der Schneidelemente mit fortschreitender Schnittzahl. Dieser Verschleiß senkt die Werkzeugstandmenge und somit auch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

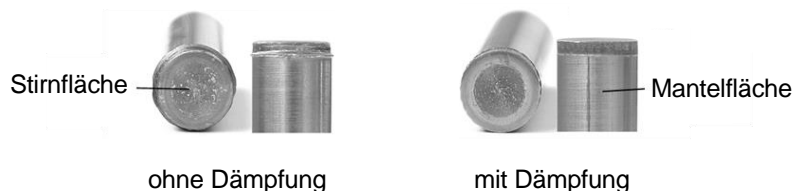
Der Werkzeugverschleiß beim Scherschneiden wird zum größten Teil vom Reibweg zwischen Stempel und Blech beeinflusst. Schwingungen des Pressenstößels verlängern diesen Reibweg, was einen erhöhten Stempelverschleiß und eine Abnahme der Schnittflächenqualität der Bauteile zur Folge hat. Die Schwingungen beim Scherschneiden sind im Wesentlichen auf die schlagartige Entlastung der verspannten Pressenstruktur zum Zeitpunkt des Materialabrisses zurückzuführen. Die Entspannung führt zu einer Anregung aller schwingungsfähigen Elemente an Presse und Werkzeug. Dieser Impuls wird als Schnit Schlag bezeichnet.

Anhand des zeitlichen Verlaufs des Stößelwegs beim Scherschneiden wird die Auswirkung des Schnittschlags sichtbar. In Bild 1 ist die deutliche Verlängerung des Stößelwegs bei durchgeführter Schneidoperation gegenüber dem Leerhub ohne Schneidoperation zu erkennen.



*Bild 1: Zeitlicher Verlauf des Stößelweges beim Scherschneiden*

Eine gezielte Dämpfung der Stößelschwingungen ermöglicht somit eine Verringerung des Werkzeugverschleißes. Beim Scherschneiden werden daher unterschiedlichste Dämpfungssysteme eingesetzt. Die Systeme reduzieren die Amplituden und die Dauer der Stößelschwingungen, wodurch eine Verminderung der Geschwindigkeit und des Reibweges eintritt. Den grundsätzlichen Unterschied bezüglich der Verschleißentwicklung beim Scherschneiden mit und ohne Dämpfung zeigt Bild 2. Ohne den Einsatz eines Dämpfungssystems treten sowohl an der Mantelfläche als auch an der Stirnfläche des Stempels deutlich stärkere Verschleißerscheinungen auf.



*Bild 2: Einfluss der Schnittschlagdämpfung auf den Stempelverschleiß [1]*

Zur Reduzierung der aus dem Schnittschlag resultierenden Stößelschwingungen haben sich in der Praxis mehrere Verfahren bewährt. Grundsätzlich handelt es sich dabei um maschinen- oder werkzeugseitige Maßnahmen. Die gegenwärtigen werkzeugseitigen Maßnahmen können aufgrund des direkten Eingriffs in die Schneidoperation (Dach-, Schräg-, Wellenschliff, abgesetzte Schneidstempel) nur in Sonderfällen angewendet werden [2]. Eine Ausnahme bildet der Lösungsansatz nach [3]. Die Schwingungen des Stößels und somit der Verschleiß an den Werkzeugen wird dabei mittels zusätzlicher Umformoperationen im Stanzabfall reduziert. Maschinenseitig gibt es zur Dämpfung der aus dem Schnittschlag resultierenden Schwingungen zahlreiche Ansätze [4]. Am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) wurden im Rahmen von Forschungsprojekten ein passives Dämpfungssystem in Form eines Reibdämpfers [5] sowie ein aktiver hydraulischer Dämpfer [6] entwickelt. Zudem wurde in [1] und [7] ein aktives elektromagnetisches Schnittschlagdämp-

fungssystem vorgestellt, welches eine autoadaptive Minimierung von Stößelschwingungen ermöglicht.

### Virtuelle Abbildung der Bewegung des Pressenstößels

Die Schwingungen des Pressenstößels sind maßgeblich für den Verschleiß an den Schneidelementen verantwortlich. Am Institut für Umformtechnik und Umformmaschine (IFUM) wurde ein Schneidwerkzeug in einem Stanzautomaten der Firma Haulick & Roos RSH-630 betrieben und grundlegende Untersuchungen bezüglich der Stößelkinematik und der Stößelschwingungen durchgeführt. Bei der Versuchspresse RSH 630-1000 handelt es sich um eine Schnellläuferpresse mit einer maximalen Nennkraft von 630 kN und erreichbaren Hubzahlen von bis zu 950 1/min. Da der Pressenstößel unmittelbar nach dem Schnittschlag gedämpfte Schwingungen ausführt, die nahezu harmonisch sind, konnte eine Identifikation des Dämpfungsgrades  $D_s$  und der Eigenfrequenz  $f_0$  im Zeitbereich mit der Ansatzfunktion für ein unterkritisch gedämpftes System ( $D < 1$ ) vorgenommen werden. Basierend auf den gewonnenen Daten erfolgte die Erstellung eines Ersatz-Simulationsmodells des Pressenstößels in Form eines Feder-Masse-Dämpfer-Systems (Bild 3a). Mit Hilfe dieses Modells wurde das Schwingungsverhalten des Stößels infolge des Schnittschlags nachgebildet, um die Anforderungen an ein Dämpfungssystem hinsichtlich der notwendigen Dämpfungskräfte zu ermitteln. Bild 3b zeigt die gute Näherung des modellierten Schwingungsverlaufs gegenüber der gemessenen Stößelschwingung.

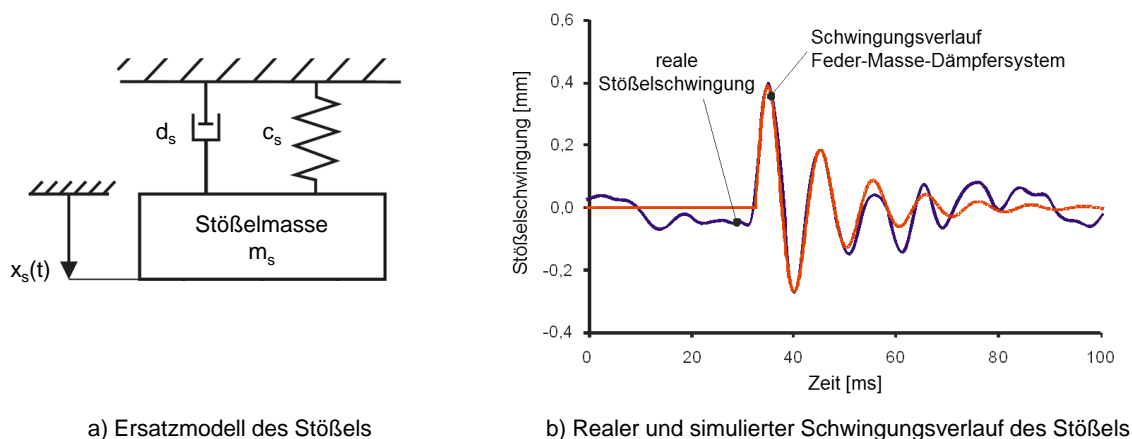


Bild 3: (a) Ersatzmodell des Stößels, (b) Vergleich reale und simulierte Stößelschwingung

Auf Grundlage dieses Modells wurden am IFUM in Zusammenarbeit mit dem Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) zwei neuartige Dämpfungskonzepte, die auf den Einsatz piezoelektrischer Aktoren zurückgreifen, erforscht. Nachfolgend werden diese Konzepte näher erläutert.

#### a. Minimierung der Stößelschwingungen direkt am Anregungsort

Zur Minimierung der Stößelschwingungen wurde ein Konzept eines Schneidwerkzeugs mit integrierter Anregungsminimierung in Form von Piezoaktoren erstellt. Eine schematische Darstellung dieses Schneidwerkzeugs zeigt Bild 4. Im Mittelpunkt der Forschungen stand die Fragestellung, ob eine Minimierung der durch den Schneidprozess angeregten Schwingungen mittels in das Schneidwerkzeug integrierter piezoelektrischer Aktoren direkt am Anregungsort bzw. dem Schneidstempel möglich ist. Die dem Konzept zugrunde liegende Arbeitshypothese ist die Annahme, dass eine Anordnung von piezoelektrischen Aktoren in

unmittelbarer Nähe zum Anregungsort der Schwingungen und ein schnelles Reagieren mittels der Aktoren auf die Anregung eine Übertragung der Schwingungen an die Maschine vermeidet bzw. reduziert. Um eine vorteilhafte Beeinflussung des Scherschneidprozesses zu erreichen, befindet sich der Einbauort der Piezoaktoren oberhalb des Schneidstempels im direkten Schneidkraftfluss. Die der Anregung folgenden Schwingungen könnten im idealen Fall durch eine Vorsteuerung der Piezoaktoren stark reduziert werden, indem der durch den Abrissvorgang sprunghaftige Kraftverlauf mit Hilfe einer Rückzugsbewegung der Aktoren und somit des Stempels beeinflusst wird.

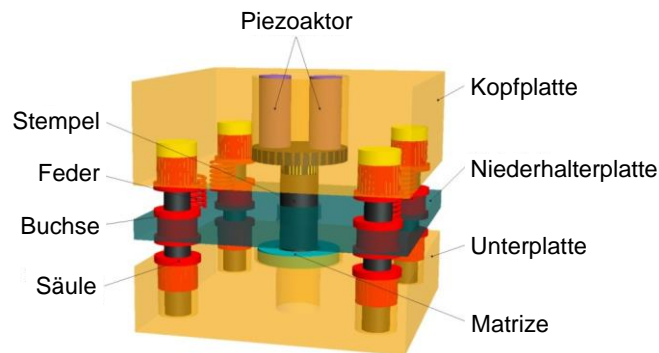


Bild 4: Konzept eines Schneidwerkzeugs mit Anregungsminimierung

Um das Potenzial des Konzeptes eines Schneidwerkzeugs mit integrierter Anregungsminimierung zu erforschen, war eine Analyse des Schwingungsverhaltens nach dem Blechabriss erforderlich. Die simulationsgestützte Schwingungsanalyse setzt dabei die Entwicklung eines vereinfachten Ersatzmodells des gesamten Systems bestehend aus Schnellläuferpresse, Werkzeug und Dämpfungssystem in Form von piezoelektrischen Aktoren voraus.

Zur Vereinfachung des Systems wurde insbesondere Wert auf die im Schneidkraftfluss beteiligten Bauteile gelegt, da diese direkten Einfluss auf die Schwingungen haben. Es wurde daher ein entsprechendes Ersatzmodell bestehend aus den Piezoaktoren und dem Schneidstempel erstellt und mit dem Modell der Stößelmasse gekoppelt (Bild 5a). Die einzelnen Massen sind mit der Stößelmasse über Feder-elemente mit realitätsnahen Steifigkeiten verbunden und ergeben somit ein schwingungsfähiges System.

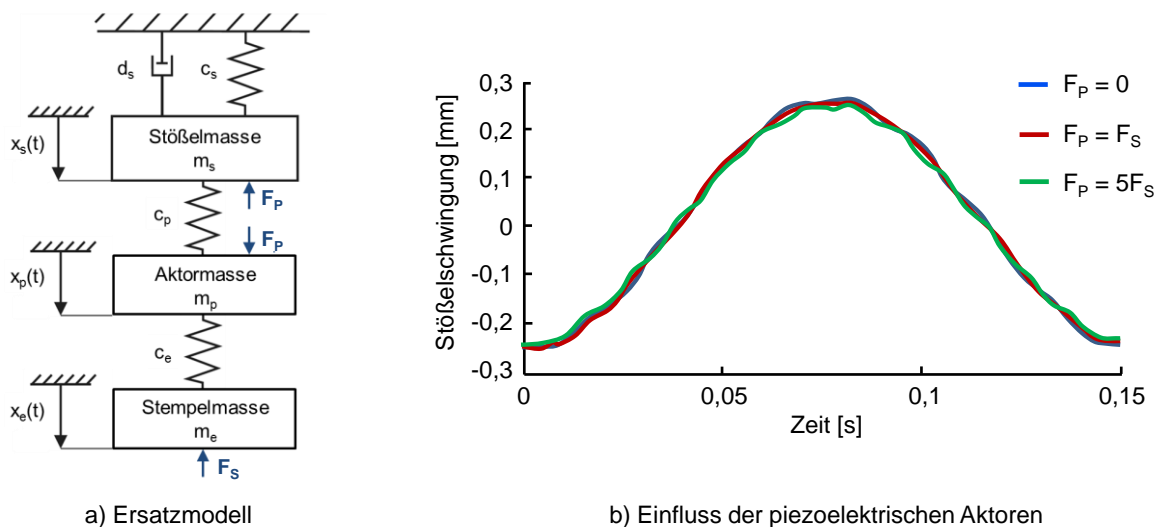


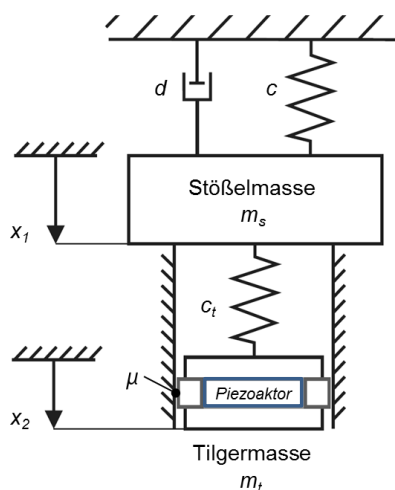
Bild 5: (a) Vereinfachtes Ersatzmodell des Dämpfungssystems, (b) Einfluss der Piezoaktoren

Zu Beginn der Simulation wirken die Schneidkraft  $F_S$  am Schneidstempel sowie die Piezokraft  $F_P$  zwischen Aktor und Stößel gleichzeitig. Zur Anregung des Systems erfolgt der sprunghafte Wegfall der Kräfte, der den Materialabriss beim Scherschneiden charakterisiert. Nachfolgende Variationsrechnungen mit dem Simulationsmodell ergaben, dass die Eigenschwingungen des Stempels gering, für den Verschleiß nicht relevant und somit vernachlässigbar sind. Die dominierende Verschleißursache sind Schwingungen des Stößels, wodurch sich der Schneidstempel als nahezu starrer Körper relativ zum geschnittenen Blech bewegt. Das Simulationsergebnis in Bild 5b zeigt diese charakteristische Unabhängigkeit der Schwingung des Stößels von der angelegten Piezokraft. Der Einsatz der Piezoaktoren im Schneidkraftfluss bewirkt keine sichtbare Reduktion der maximalen Stößelschwingung. Dabei ist weder die Rückzugbewegung der Aktoren beim Blechabriss noch die Höhe der angelegten Piezokraft von Bedeutung.

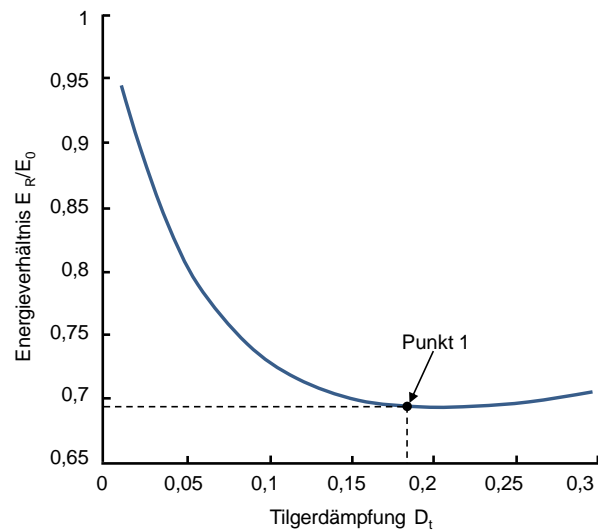
Mit dem Ansatz der Schwingungsminimierung des Schneidstempels mittels piezoelektrischer Aktoren ist daher eine Reduzierung der Stößelschwingungen nicht erreichbar, da die Schwingungen der Maschine beim Schneidprozess nicht mittels der maximal erreichbaren Stellwege der Aktoren beeinflusst werden können.

### b. Einsatz eines semiaktiven Dämpfungssystems

Ausgehend von den Simulationsergebnissen nach Konzept (a) und den festgelegten Anforderungen an den Dämpfer aus dem Ersatzmodell der Stößelmasse erfolgte die Konzeption eines kompakten semiaktiven Dämpfungssystems mit integrierten piezoelektrischen Aktoren. Das System basiert auf dem Prinzip eines Schwingungstilgers. Die Schwingungen des Stößels werden gedämpft, indem die Schwingungsenergie der angeregten Presse in eine eigene Schwingbewegung des Tilgers umgewandelt wird. Diese Schwingbewegung kann dabei mittels der piezoelektrischen Aktoren über Reibpaarungen beeinflusst werden.



a) Ersatzmodell



b) Einfluss des Schwingungstilgers

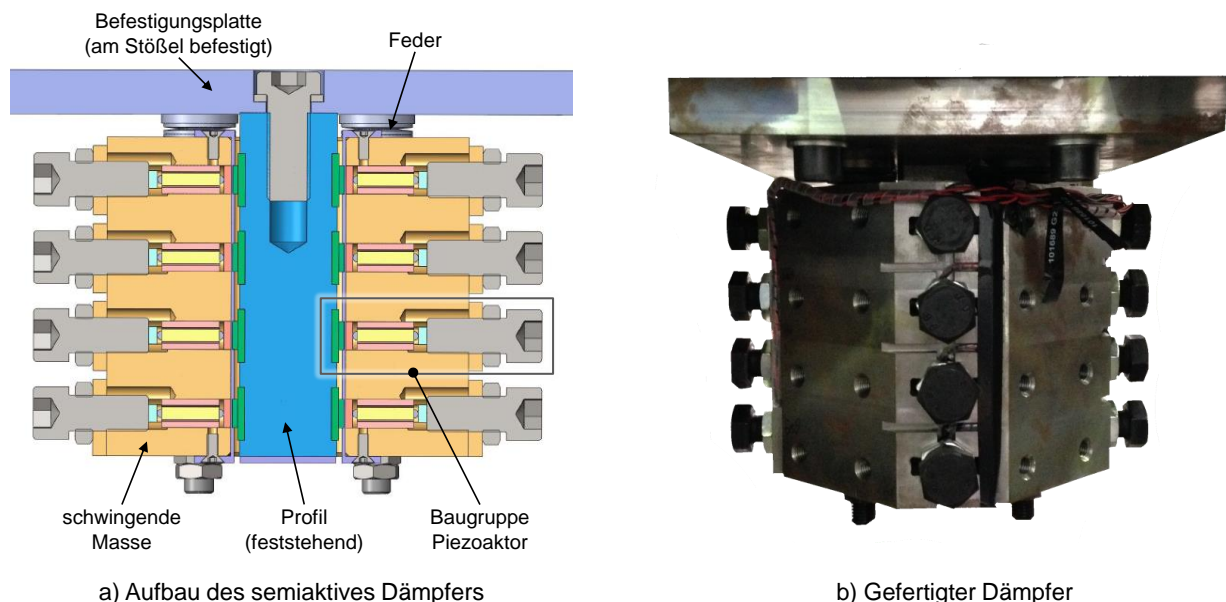
Bild 6: (a) Ersatzmodell des semiaktiven Dämpfers, (b) Einfluss des Schwingungstilgers

Zur Auslegung der Aktorik erfolgte die Ermittlung einer geeigneten Bauform basierend auf den ermittelten Anforderungen an die aufzubringenden Kräfte und Leistungskennlinien. Im Anschluss wurde ein entsprechendes Ersatzmodell zur Abbildung der Dämpfungskräfte, bestehend aus einer Tilgermasse mit integrierten Piezoaktoren, erstellt und mit dem Ersatzmo-



dell der Stößelmasse gekoppelt (Bild 6a). Die einzelnen Massen sind in diesem Modell über Federn mit realitätsnahen Steifigkeiten verbunden. Die piezoelektrischen Aktoren ermöglichen die Einstellung der Dämpfung des Systems über die Normalpressung und den Reibwert, wodurch eine direkte Beeinflussung der Tilgerschwingung realisierbar ist. Die Dämpfungseigenschaften können so während des Betriebs variiert werden, wodurch eine flexible Anpassung des Systems an unterschiedliche Prozessparameter ermöglicht wird.

Berechnungen mit dem Simulationsmodell zeigten das Potential des semiaktiven Dämpfungssystems in Bezug auf eine Reduktion der Stößelschwingungen. Das Kriterium zur Beurteilung der Schwingungsdämpfung am Stößel ist das Verhältnis aus der bei Blechkontakt des Schneidstempels im Prozess resultierenden, dissipierten Reibenergie  $E_R$  bezogen auf die kinetische Energie  $E_0$  des Impulses, welcher zum Zeitpunkt der Blechtrennung den Stößel zu Schwingungen anregt. In Bild 6b ist der Einfluss der mittels der Piezoaktoren einstellbaren Dämpfung des Tilgers auf das Energieverhältnis dargestellt. Im optimalen Betriebspunkt des Dämpfungssystems (Punkt 1) wird die in der Kontaktzone zwischen Stempel und Blech dissipierte Reibenergie um ca. 30 % reduziert, was eine verminderte Verschleißentwicklung an den Schneidelementen bewirkt.



**Bild 7: Semiaktives Dämpfungssystem**

Für die experimentelle Validierung der Simulationsergebnisse wurde das in Bild 7 dargestellte semiaktive Dämpfungssystem entwickelt. Das System, welches aus zwei separaten Dämpfern besteht, wird an der Unterseite des Stößels der Umformmaschine angebracht. Der einzelne Dämpfer setzt sich aus einer mittels Schraubendruckfeder gefedert am Stößel befestigten Tilgermasse und einem innenliegenden, fest mit dem Stößel verbundenen Profil zusammen. Das Gewicht des Tilgers kann mittels Trimmgewichten zwischen 35 und 60 kg variabel eingestellt werden. Die Aufbringung der Reibkräfte erfolgt mittels in den Tilger eingebrachter piezoelektrischer Stapelaktoren (Bild 8). Die verwendeten Aktoren sind zur Erhöhung der Stabilität in Hülsen eingegossen. An den Enden der Hülsen sind zusätzlich Halbkugeln aus Stahl appliziert, um so eine querkräftfreie Kraftübertragung auf die Reibflächen zu ermöglichen (Bild 9). Mit Hilfe von Justierschrauben wird die erforderliche Vorspannung an den Piezoaktoren erreicht.

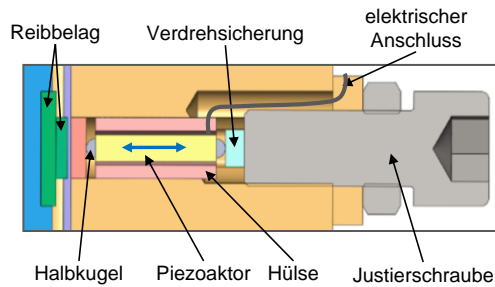


Bild 8: Konstruktiver Aufbau der Baugruppe Piezoaktor

Die Ansteuerung der piezoelektrischen Aktoren erfolgt mittels Leistungsverstärkern dynamisch. Somit wird eine flexible Anpassung an unterschiedliche Prozessparameter ermöglicht. Im Hinblick auf die hohen Anforderungen an die Piezoaktoren in Form einer impulsartigen Anregung sowie einer ausreichenden Dynamik des Systems muss die Leistungselektronik entsprechend hohe Ströme mit kurzer Anstiegszeit bereitstellen. Zudem darf die aufgrund der hohen Parallelkapazität der Aktoren entstehende hohe Blindleistung die Leistungselektronik nicht nach einigen Zyklen zerstören. Die entwickelten Zwei-Quadranten-Linearverstärker besitzen daher eine Gegenkopplung für den Spannungsbereich zwischen 0 und 120 V und einer Nennleistung von 600 W.



a) Stapelaktor



b) Aktor in Hülse eingegossen

Bild 9: (a) Stapelaktor, (b) Sonderanfertigung des Aktors

Nach der Fertigung des semiaktiven Dämpfungssystems sowie der Leistungselektronik erfolgt nun der experimentelle Einsatz in der Versuchspresse bei Durchführung eines realen Schneidprozesses. Dabei soll das Potenzial des Systems in Bezug auf die Reduzierung der Stößelschwingung gezeigt und somit eine Minimierung des Kontaktweges zwischen dem am Pressenstößel befestigten Schneidstempel und dem geschnittenen Blech erzielt werden (Bild 10). Die gewonnenen Daten ermöglichen zudem eine Validierung der Simulationsergebnisse.

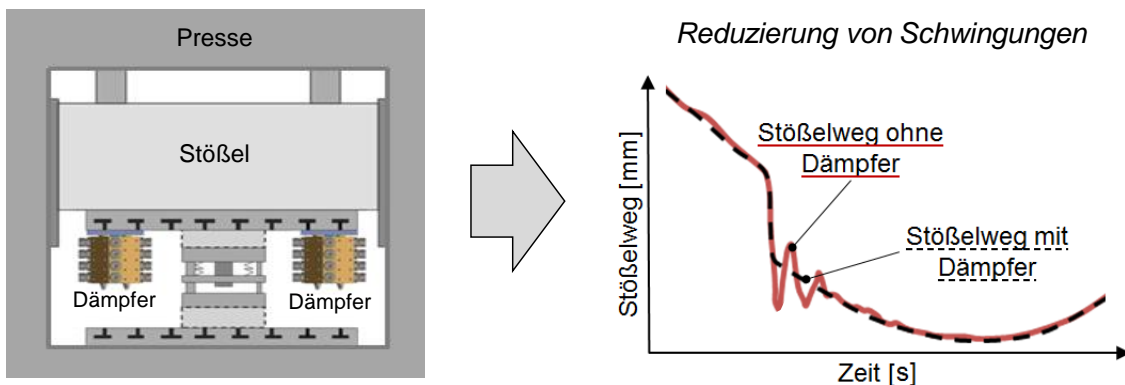


Bild 10: Prinzip des semiaktiven Dämpfungssystems

## Ausblick

Das vorgestellte Lösungskonzept zur Minimierung der Stößelschwingungen mittels eines semiaktiven Dämpfungssystems zeigt anhand von Simulationsergebnissen im Gegensatz zum werkzeugseitigen Konzept mit integrierten Aktoren ein hohes Potential zur Dämpfung von Stößelschwingungen. Der nächste Schritt ist die Erprobung des Lösungsansatzes an einem realen Schneidprozess, um endgültige Aussagen über die Funktionalität bzw. das Einsatzpotential treffen zu können.

## Danksagung

Das Forschungsvorhaben mit den Titeln „Minimierung der Schwingungsanregung von Schneidstempeln durch den Einsatz von Piezoaktoren“ wurde unter den Forschungsnummern BE 1691/132-1 und WA 564/21-1 aus Haushaltsmitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung.

## Literaturverzeichnis:

- [1] Behrens, B.-A.; Marthiens, O.: Autoadaptive Minimierung von Stößelschwingungen mittels eines aktiven elektromagnetischen Dämpfersystems, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben FWF 0524, IFUM, 2010
- [2] Hoffmann, H.; Braun, H.; Waller, E.: Lärm und Werkzeugverschleiß auch bei schwierigen Bedingungen wirksam senken, Maschinenmarkt, Band 83 Heft 71, S. 1374 – 1377, 1977
- [3] Behrens, B.-A.; Krimm, R.; Hilscher, S.: Neue Methoden zur Vermeidung der Schwingungen des Pressenkörpers und des Pressenstößels beim Scherschneiden, UTF-Science, Meisenbach Verlag, Bamberg, S. 1 – 9, 2014
- [4] Doege, E.; Behrens, B.-A.: Handbuch Umformtechnik – Grundlagen, Technologien, Maschinen; 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010
- [5] Weck, M.; Krell, M.; Doege, E.; Derenthal, M.; Großmann, K.; Wiemer, H.: Schnittschlagdämpfung von Schnellläuferpressen. Einsatz eines Reibungsdämpfers zum Verringern des Werkzeugverschleißes, Werkstatttechnik, 91. Jahrgang, Ausgabe 9, S. 540 - 544, 2001
- [6] Brecher, C.; Behrens, B.-A.; Hork, M.; Werbs, M.: Entwicklung eines aktiven Dämpfersystems zur Reduzierung des Werkzeugverschleißes von Schneidwerkzeugen, Abschlussbericht Forschungsvorhaben AiF70ZN, Hannover, 2005
- [7] Behrens, B.-A.; Pösse, O.; Sidhu, K.-B.: Different approaches to model the material separation during blanking process using FEM, Konferenz-Einzelbericht: IDDRG-Conference „Drawing The Things To Come“, 2006