

## Einfluss der Stößelverlagerung von mechanischen Umformmaschinen auf den Schneidprozess

# Auswirkung von Maschineneinflüssen auf den Umformprozess

D. Schmiele, D. Friesen, R. Krimm, B.-A. Behrens

**ZUSAMMENFASSUNG** Das Scherschneiden ist ein industriell weit verbreitetes Verfahren zur spanlosen Trennung von Blechwerkstoffen. Äußere Einflüsse, wie zum Beispiel die Stößelkipfung, mindern jedoch die Schnittteilqualität. Mit einem System aus Pneumatikzylindern und Druckspeichern lassen sich Anfangsverlagerungen aufgrund von Lagerspielen kompensieren und sich der Maschineneinfluss reduzieren. Bei Schneidprozessen, bei denen die Schneidkraft unterhalb der für das Überwinden der Lagerspiele erforderlichen Kraft bleibt, kann mit einer solchen Vorrichtung die Schnittteilqualität gesteigert werden.

### STICHWÖRTER

Schneiden, Qualitätssicherung, Umformtechnik

## How machinery influences impact the forming process – Impacts of ram displacement in mechanical forming machines on the cutting process

**ABSTRACT** Shear cutting is a widely applied process for chipless separation in industry. However, multiple disruptive factors such as ram displacement reduce the shear cutting quality. A system of pneumatic cylinders and pressure accumulators compensates for initial displacements due to bearing clearances, reduces the machine influence, and increases the cut part quality of ductile sheet materials. With cutting processes in which the cutting force remains below the force required to overcome the bearing clearances, such a device can increase the quality of the cut part.

## 1 Einleitung

Während konventioneller Schneidprozesse treten im Material hohe Dehnraten in Kombination mit hohen Temperaturen auf. Eine genaue Zuordnung, zu welchen Anteilen die Temperatur und die Dehnraten das Versagensverhalten beeinflussen, ist bisher nicht möglich [1]. Um diese Fragestellung zu analysieren, werden Scherschneidversuche bei sehr niedrigen Stößelgeschwindigkeiten (quasistatisch) durchgeführt. Dabei steigt die Temperatur in der Scherzone nicht signifikant an und es kann eine rein mechanische Validierung des Schädigungsmodells ohne Berücksichtigung der Temperatur- und Dehnratenabhängigkeit vorgenommen werden. Auf Basis der Validierung kann anschließend mithilfe eines Simulationsmodells ein grundlegendes Verständnis über die in der Scherzone herrschenden Spannungs- und Verformungszustände entwickelt werden.

Da die eingesetzte Umformmaschine mit einem mechanischen Koppelgetriebe direkte Auswirkungen auf den Schneidprozess hat, welche jedoch in der Simulation nicht oder nur mit erheblichem Aufwand im notwendigen Detaillierungsgrad abgebildet werden können, ist es zunächst notwendig, die maschinenseitigen Einflüsse weitgehend zu minimieren. Problematische Einflüsse sind Verlagerungen des Stößels, die in horizontaler beziehungsweise in vertikaler Richtung auftreten. Zwar ist die Steifigkeit von mechanischen Pressen im Vergleich zu hydraulischen Pressen prinzipiell höher, jedoch kommt es beispielsweise aufgrund der elastischen Nachgiebigkeit von Bauteilen des Antriebsstranges

sowie Lagerspielen unter Last zu einer Kippung und einem Versatz des Stößels [2].

Eine im kalten Zustand der Presse spielbehaftete Lagerung des Stößels ist maschinentechnisch notwendig, etwa um thermische Ausdehnungen der im Antriebsstrang befindlichen Bauteile im Anlaufbetrieb zu ermöglichen und Zwangskräfte in den Lagern während des Dauerbetriebs zu vermeiden. Eine thermische Ausdehnung und eine damit einhergehende Verringerung des Lagerspiels sind bei der Durchführung von quasistatischen Schneidversuchen im Einzelhubbetrieb aber nicht zu erwarten. Daher üben die Lagerspiele unter diesen speziellen Rahmenbedingungen den größten Einfluss der Umformmaschine auf den Prozess aus. Mit einem in der Presse integrierbaren System aus Pneumatikzylindern und Druckspeichern werden die Lagerspiele im Antriebsstrang vor, während und nach dem Schneiden unterdrückt und der Maschineneinfluss während des Prozesses minimiert.

Die Ergebnisse der quasistatischen Scherschneidversuche sollen als Datenbasis für die Validierung der Simulation dienen, mit welcher eine genaue Kenntnis über die Einflussfaktoren Temperatur und Dehnraten in der Scherzone erlangt werden kann.

## 2 Stand der Technik

### 2.1 Scherschneiden

Das Scherschneiden ist ein Standardverfahren zur Herstellung von Erzeugnissen aus Blechwerkstoffen. Durch seine Wirtschaftlichkeit eignet es sich in der blechverarbeitenden Industrie hervorragend zur Herstellung von Teilen in sehr großen Stückzahlen



Bild 1. Beispiele beschnittener Bauteile aus Blech. Grafik: IFUM

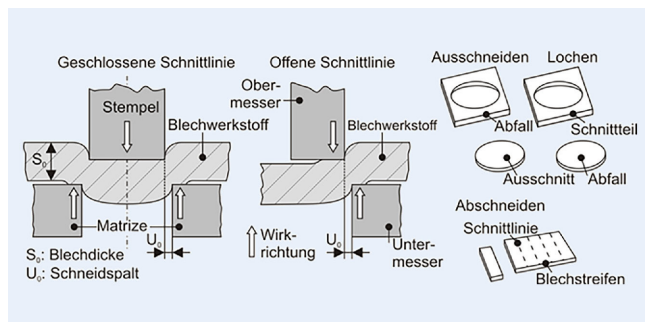


Bild 2. Scherschneiden mit geschlossener und offener Schnittlinie (links) und Verfahrensvarianten (rechts). Grafik: [5, 6]

und wird häufig angewendet [3]. Das Spektrum der Werkstücke, die durch Scherschneiden hergestellt werden, umfasst Kleinstteile wie Stecker, Hülsen und Buchsen, Gehäuseteile, Karosserieteile für Fahrzeuge, Kosmetikverpackungen, Schmuck, Teile von Uhren und vieles mehr. Beispiele sind in **Bild 1** zu sehen.

Nach DIN 8580 [4] zählt das Scherschneiden zu den trennenden Fertigungsverfahren und ist als „Zerteilen von Werkstücken zwischen zwei Schneiden, die sich aneinander vorbei bewegen“ definiert. Bekannte Verfahrensvarianten sind das Ausschneiden, bei dem das ausgeschnittene Teil das Werkstück darstellt, das Lochen, bei dem das ausgeschnittene Teil (Butzen) Abfall darstellt oder das Abschneiden [5]. Des Weiteren wird zwischen offenen und geschlossenen Schnittlinien unterschieden (**Bild 2**) [6].

Der Scherschneidprozess beginnt mit dem Aufsetzen des Stempels beziehungsweise des Oberwerkzeugs auf das Werkstück (**Bild 3**).

Die Prozesskraft steigt stark an, bis ein plastisches Fließen des Blechwerkstoffs auftritt. Das Oberwerkzeug dringt dabei in das Werkstück ein und es entsteht die sogenannte Glattschnittfläche. Ist das Umformvermögen des Werkstoffs erschöpft, reißt der Restquerschnitt des Blechwerkstoffs ab und die Bruchfläche entsteht. Das Oberwerkzeug taucht weiter in die Schneidmatrize beziehungsweise das Unterwerkzeug ein und drückt den geschnittenen Butzen in den Matrizenkanal.

Aufgrund des sprunghaften Abfalls der Schneidkraft zum Zeitpunkt der Materialtrennung wird die in der Presse gespeicherte

Federenergie schlagartig freigesetzt. Dies wird als Schnittschlag bezeichnet und führt zu unerwünschten Schwingungen des Pressenstößels sowie weiterer Pressenkomponenten. Unerwünschte Beeinträchtigungen der Umformprozesse und eine Abnahme der Bauteilqualität können die Folge sein. [7]

## 2.2 Schnittflächenqualität

Die Qualität der beim Scherschneiden erzeugten Schnittflächen ist ein wesentliches Kriterium zur Bewertung der Qualität des gesamten Teils. Bei schergeschnittenen Bauteilen mit Verzahnungen, wie sie zum Beispiel in Getrieben zum Einsatz kommen, wird eine möglichst gratfreie Schnittfläche mit hohem Glattschnittanteil und einem geringen Kanteneinzug angestrebt [8].

Dies lässt sich in der Praxis häufig nur mit einem höheren Prozessaufwand erreichen. Infolge von prozess-, werkstoff- und maschinenbedingten Einflüssen weicht die Geometrie der erzeugten Schnittfläche von der idealen angestrebten Form ab. Stattdessen entsteht oft eine charakteristische Geometrie, die mithilfe der in der VDI-Richtlinie 2906 definierten Schnittflächenkenngrößen beschrieben werden kann (**Bild 4**) [9].

Vor allem bei gut umformbaren duktilen Werkstoffen, die bevorzugt für PKW-Türen, Motorhauben sowie Gehäusen von Elektrogeräten verwendet werden, entsteht ein vergleichsweise hoher Gratanteil und ein großer Kanteneinzug. Je nach Anwendungsfall kann eine anschließende Entgratung der Blechteile erforderlich sein oder die Schnittkante wird mittels Biegens zu einem Falz umgelegt.

Die Qualität der erzeugten Schnittflächen sowie die Höhe von eventuell entstehendem Schnittgrat hängen vom Blechwerkstoff, dem verwendeten Schneidwerkzeug sowie der eingesetzten Umformmaschine ab. Relevante Eigenschaften des Blechwerkstoffs sind die Dicke, die Dehngrenze, die Zugfestigkeit, die Härte sowie die Bruchdehnung. Werkzeugseitige Parameter sind der Schneidspalt  $U_0$  (siehe **Bild 2**), die Werkzeugführung, die Teilegeometrie, der Werkstoff der Schneidelemente sowie deren Verschleißzustand. Eine Verringerung des Schneidspalts führt meist zu einer höheren Glattschnittfläche mit geringerem Schnittgrat, begünstigt aber den Werkzeugverschleiß, der aber mit geeigneten Maßnahmen (wie Beschichtungen, zusätzliche Führungen) bis zu einem

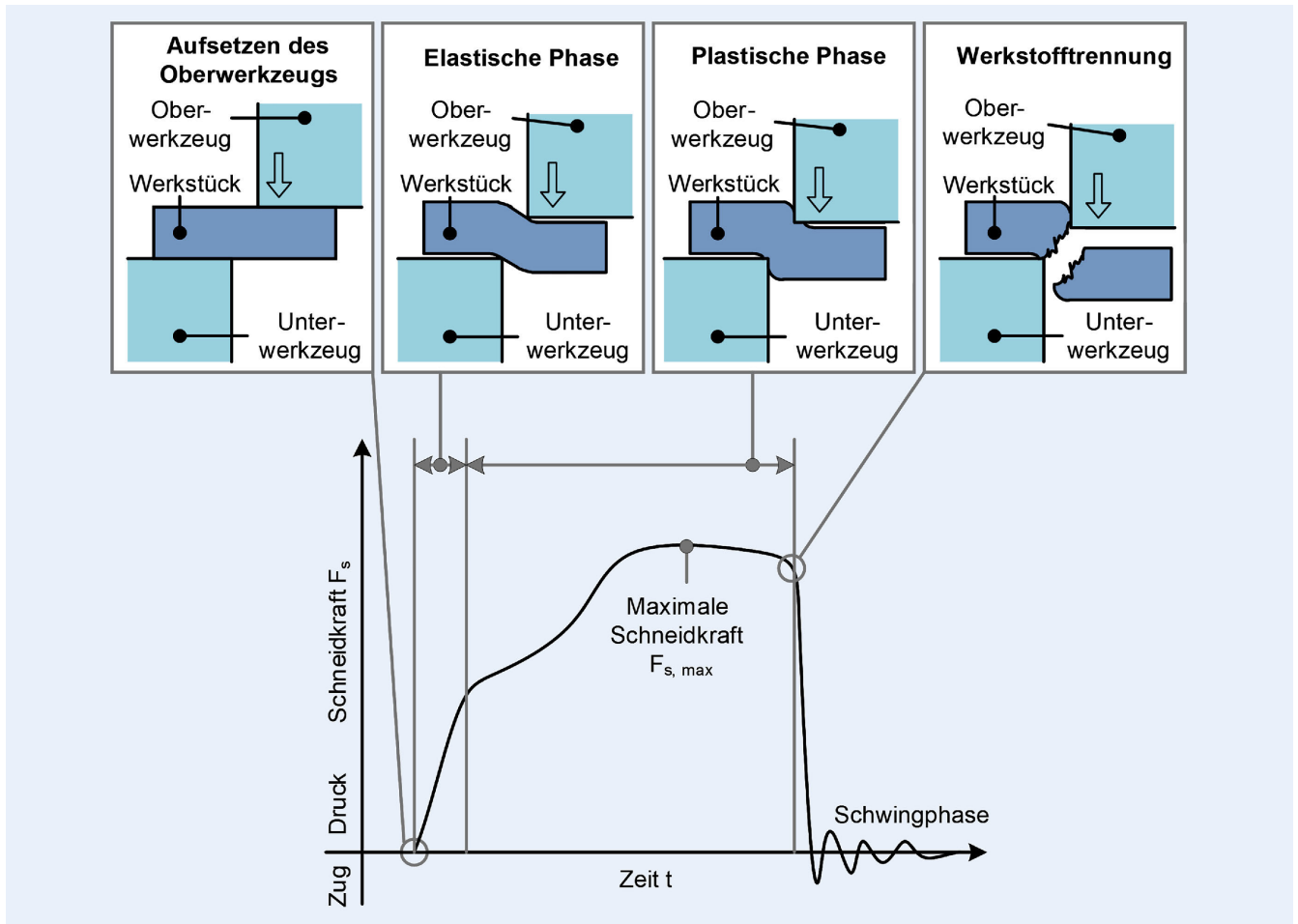


Bild 3. Schematische Darstellung des Schneidkraftverlaufs. Grafik: [7]

gewissen Grad kompensiert werden kann. Ein größerer Schneidspalt geht meistens mit einer Erhöhung der Standmenge einher, bewirkt aber auch die Entstehung eines ausgeprägten Kanteneinzugs, eine Vergrößerung der Bruchfläche sowie des Schnittgrates [10].

### 2.3 Mechanische Schneidpressen

Mechanische Pressen sind in der industriellen Fertigung weit verbreitet und zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus, präzise und wiederholbare Bewegungen auszuführen. Bei Hubzahlen von bis zu  $2500 \text{ min}^{-1}$  [11] und der damit verbundenen hohen Ausbringung, werden mechanische Presse oft für Scherschneidprozesse eingesetzt. Diese Pressen werden nach ihrer Bauart klassifiziert, wobei die Unterschiede vor allem in der Art des Gestells und des Stößelantriebs liegen [12]. Bild 5, links, zeigt den Aufbau einer solchen Presse am Beispiel einer Kniehebelpresse.

Eine mechanische Presse besteht grundsätzlich aus dem Gestell (Ständer), dem Antrieb und einem Koppelgetriebe, das die Bewegung der Antriebswelle auf den Stößel überträgt. Die hohen Anforderungen an die Hubzahl beziehungsweise Genauigkeit, wie bei Schneidpressen, lassen sich meist mittels O-Gestellen am besten erfüllen [13]. Das Koppelgetriebe ist eine feste mechanische Verbindung zwischen dem Antrieb und dem Stößel, wodurch der spezifische Stößelweg-Zeit-Verlauf (Bild 5, rechts

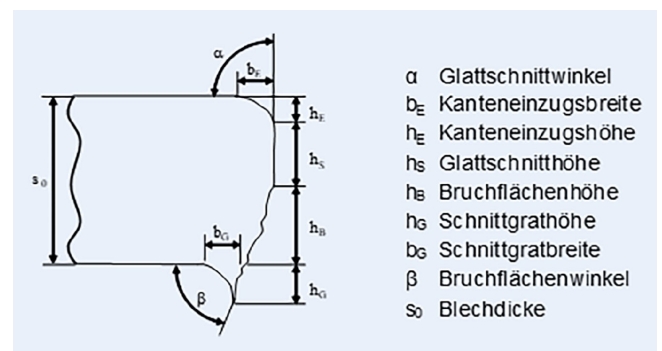
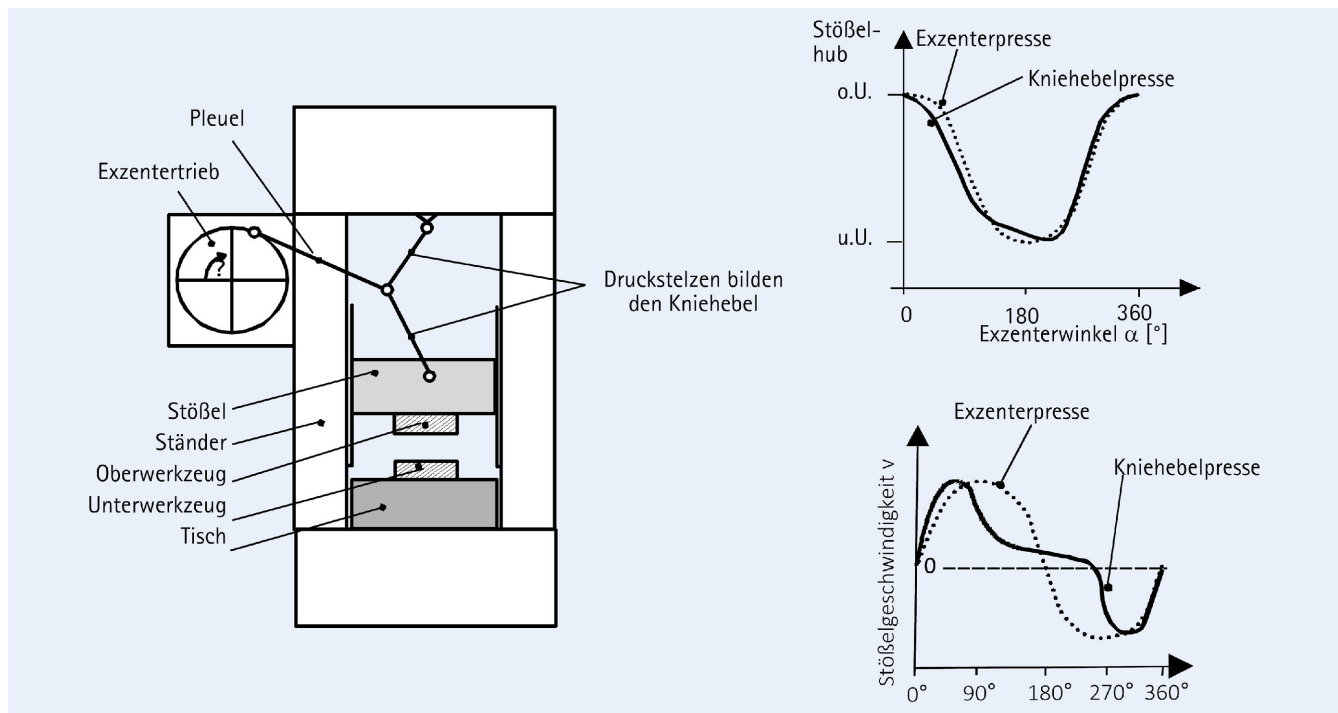


Bild 4. Schnittflächenkenngrößen beim Scherschneiden. Grafik: [9]

oben) entsteht, welcher im Gegensatz zu hydraulischen Pressen nicht flexibel angepasst werden kann.

Ein charakteristisches Merkmal von Kniehebelpressen ist der geringere Auftreffstoß, der durch die reduzierte Stößelgeschwindigkeit kurz vor dem unteren Umkehrpunkt verursacht wird (Bild 5, rechts unten). Dieses spezielle Antriebskonzept weist im Vergleich zu Exzenterpressen bei annähernd gleichen Hubzahlen eine im Arbeitsbereich grundsätzlich geringere Umformgeschwindigkeit auf und eignet sich somit neben Schneidprozesse auch für Prägeprozesse. Ein weiterer Vorteil der Kniehebelpressen ist, dass sie ein relativ kleines Kurbelmoment benötigen, um eine vergleichsweise hohe Nennkraft zu erzeugen. Dadurch können



**Bild 5.** Schematischer Aufbau einer Kniehebelpresse (rechts) sowie Stößelhubverlauf und Stößelgeschwindigkeitsverlauf (links). Grafik: [2]

Kupplung, Bremse und Wellendurchmesser relativ klein dimensioniert werden. [14]

Durch Nachgiebigkeiten im Antriebsstrang sowie vorhandenen Lagerspielen kommt es zu Verlagerungen des Stößels unter Last, welche als Kippung und Versatz bezeichnet werden. Dies hat zur Folge, dass der Schneidspalt  $U_0$  (vergleiche Bild 2) über dem Stempelumfang beziehungsweise der Schnittflächenlänge variiert. Bei Scherschneidprozessen haben somit sowohl die Steifigkeit (vertikale Steifigkeit, Kippsteifigkeit) als auch die nicht lineare Anfangsverlagerung (Lagerspiele, Montageungenauigkeiten, Fügestellen) einen maßgebenden Einfluss auf die Teilequalität und den Werkzeugverschleiß. Die Gesamtsteifigkeit einer Presse setzt sich aus den einzelnen Komponentensteifigkeiten entweder als Summe der Einzelsteifigkeiten (bei parallel montierten Bauteilen) oder als Kehrwert der Summe der Kehrwerte der einzelnen Steifigkeiten (bei in Reihe montierten Bauteilen) zusammen und ist ein Maß für den Widerstand gegen Formänderung. Die vertikale Verlagerung von Pressen bei mittlerer Belastung setzt sich aus der Summe der Verformung der einzelnen Bauteile im Kraftfluss und der Anfangsverlagerung zusammen (Bild 6) [15].

Bei komplexen Strukturen wie Pressen ist nur begrenzt von einer linearen elastischen Verformung unter Zug-/Druckbelastung auszugehen. Der Verlauf der vertikalen Verlagerungskurve weist erst nach dem Überwinden der anfänglichen Nichtlinearitäten (hauptsächlich lagerspielbedingt) eine Gerade auf.

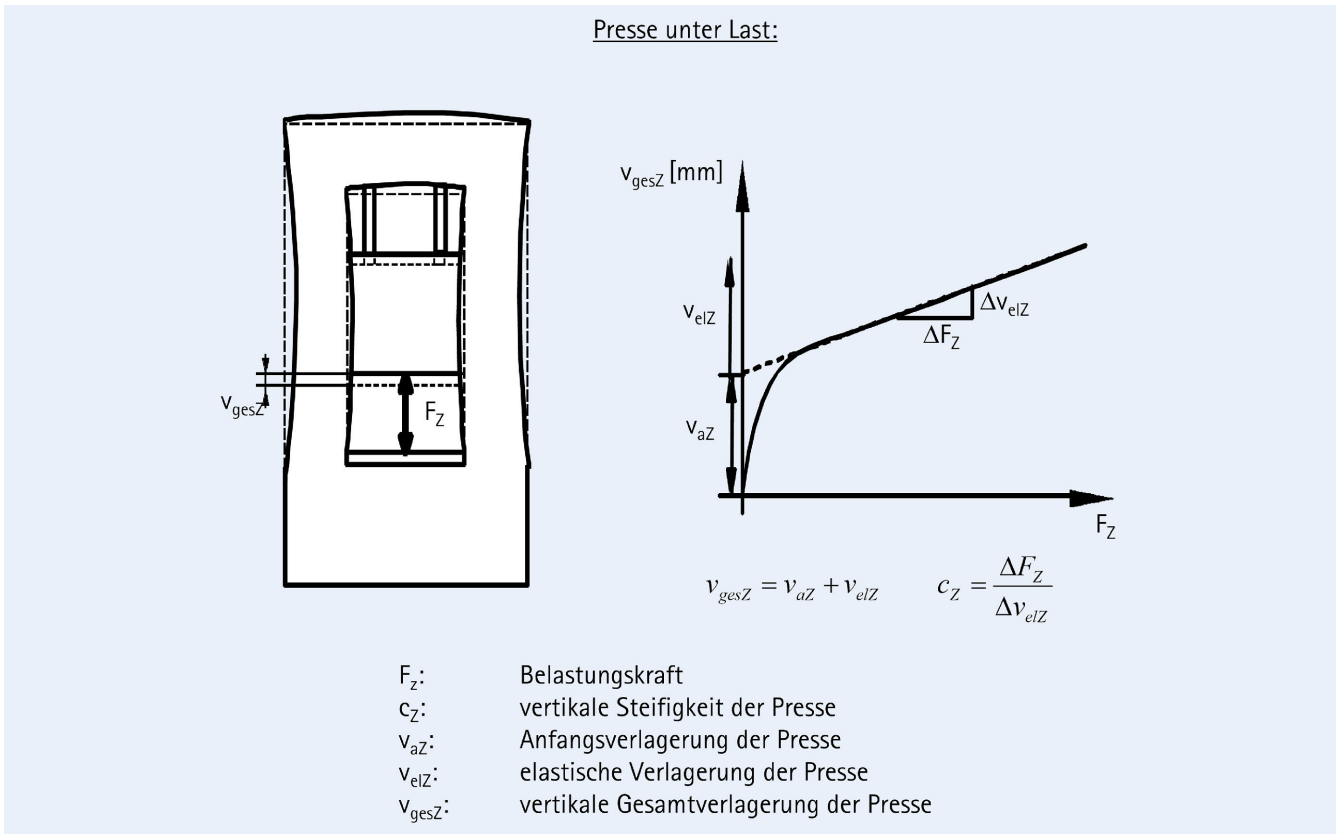
Die vertikale Steifigkeit von Exzenter- und Kniehebelpressen ist stark abhängig von der Ausführung des Antriebsstrangs [2]. Hingegen ist die Anfangsverlagerung bei Kniehebelpressen aufgrund der größeren Anzahl an spielbehafteten Gelenken (zum Beispiel Wälzlagerungen) im Vergleich zu baugrößenähnlichen Exzenterpressen zwangsläufig höher. Das Lagerspiel beziehungsweise die (Einbau-)Lagerluft bei Wälzlagern ist unter anderem notwendig um die temperaturbedingte Ausdehnungsunterschiede des Lagers im Betrieb zu kompensieren und somit hohe Verspan-

nungen zu vermeiden [16]. Aus der im Betrieb auftretenden Temperaturdifferenz zwischen den Lagerringen resultiert eine verringerte Luft, die Betriebsluft. Diese Lagerluft unter Betriebsbedingungen ist maßgebend für die Anfangsverlagerung. Bild 7 stellt das Prinzip der Anfangsverlagerung aufgrund der Lagerluft bei Kräfteinleitung dar.

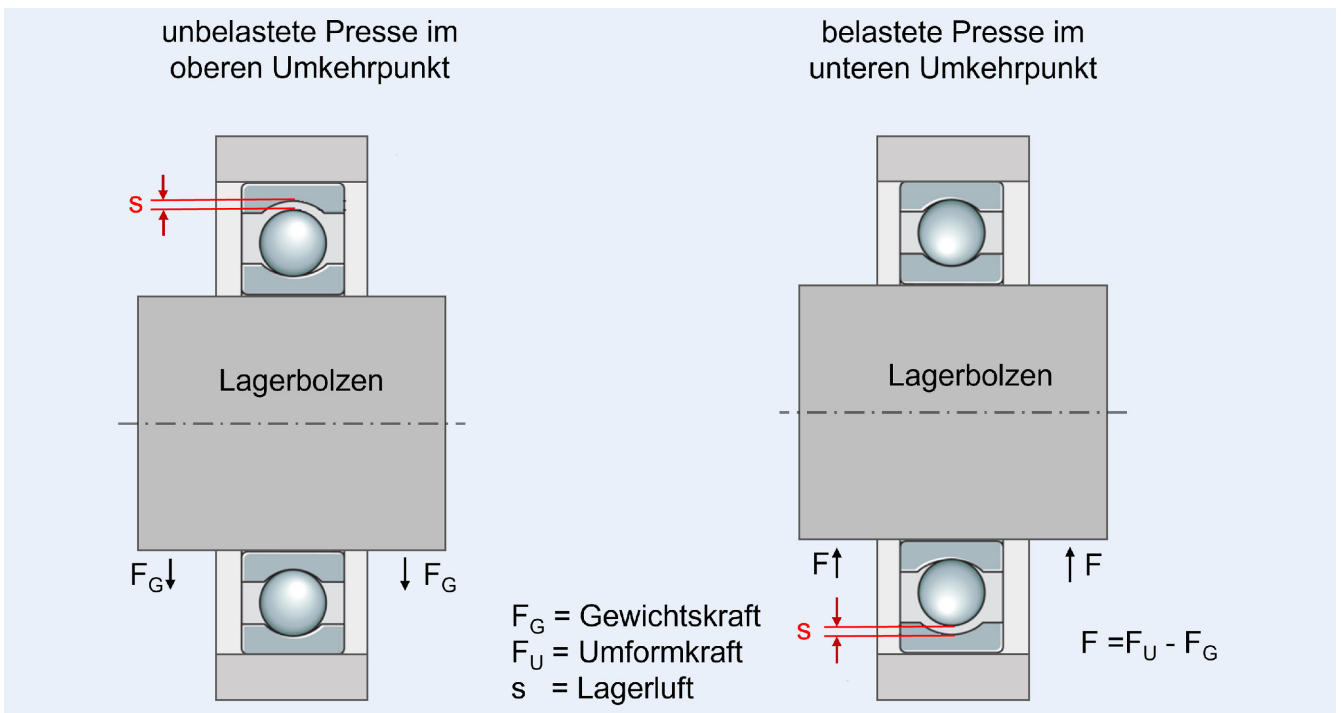
Die Stößelgewichtskraft sorgt bei der unbelasteten Presse dafür, dass sich der Anlagepunkt des Lagers unten und die Lagerluft oben befindet. Wird mit beginnender Umformung eine entgegenwirkende Kraft aufgebracht und übersteigt diese die Gewichtskraft, kommt es zum Umklappen der Lagerluft und einem Anlagewechsel. Bei Scherschneidprozessen führt die Materialtrennung zu einem abrupten Lagerumklappen. Diese hohen Schlagbelastungen können zu einem vorzeitigen Lagerversagen führen [17]. Ein solch schädigendes Umklappen der Lager kann gezielt mittels Stößelgewichtsausgleich (SGA) vermieden werden [2].

### 3 Ermittlung des Maschineneinflusses auf den Schneidprozess

Um geeignete Maßnahmen zur Minimierung des Maschineneinflusses umsetzen zu können, bedarf es zunächst genauer Kenntnis über diese Einflüsse und deren Auswirkungen auf den Prozess. Dazu wurde vorab mit dem optischen Verlagerungsmesssystem „GOM Pontos“ ein Soll-/Ist-Abgleich der Stößeltrajektorie beim Scherschneiden durchgeführt. In Anlehnung an DIN 55189 [18] wurde die Presse auch statisch vermessen, um die Anfangsverlagerung sowie die Kraft, die zur Überwindung der Lagerspiele nötig ist, ermitteln zu können. Aufbauend auf den Ergebnissen erfolgte die Konzeption und Fertigung eines in den Einbauraum der Presse integrierbaren Systems, das eine exakt zu definierende Gegenkraft auf den Stößel ausübt und so die temperaturabhängigen Lagerspiele im Antriebsstrang vor, während und nach dem



**Bild 6.** Einflüsse der Steifigkeiten und der Anfangsverlagerung auf die vertikale Pressenverlagerung. *Grafik: [2]*



**Bild 7.** Lagerluft vor (links) und während (rechts) der Umformung. *Grafik: IFUM*

Schneiden unterdrückt. Nach der Inbetriebnahme wurde dieses Systems anhand erneuter Vermessungen validiert.

Die Durchführung der Schneidversuche erfolgte auf einer servomotorisch direktangetriebenen Kniehebelpresse „MSC-2000“

der Firma Schuler (**Bild 8**). Die Presse verfügt über zwei Antriebsstränge und eine elektronisch gekoppelte Gleichlaufregelung. Der Antriebsstrang besteht jeweils aus einem Servomotor,



Bild 8. Servopresse „MSC-2000“ Foto: IFUM

Bremsmodul, Kniegelenk und einer Exzenterwelle mit Pleuel. Die Nennkraft der Presse liegt bei 2000 kN.

Servopressen bieten gegenüber konventionellen Pressen den Vorteil der freien Programmierung der Stößelkinematik und damit des Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlaufes [19]. Die Geschwindigkeit beziehungsweise Bewegung des Stößels kann während eines Hubes variabel gewählt werden, was eine flexible Anpassung an den jeweiligen Umformprozess erlaubt [20]. Die technischen Daten der für die Versuchsdurchführung eingesetzten Servopresse sind in der **Tabelle** dargestellt.

### 3.1 Ermittlung der Stößelkipfung beim Scherschneiden

Bei Messungen der Stößelbewegung während des Betriebs der Versuchspresse mit einem Schneidwerkzeug mit der optischen Vermessungseinrichtung „Pontos“ der Firma GOM (Bild 9) wur-

Tabelle. Technische Daten der Versuchspresse.

Modell	Servopresse MSC-2000
Baujahr	2016
Gesamtmasse	22 t
Stößelmasse	4,7 t
Nennkraft	2.000 kN
Hubzahlbereich	3 – 160 1/min
Stößelhub	20 – 160 mm
Antriebsleistung	2 x 47 kW
Max. Werkzeugeinbauhöhe	350 – 500 mm
Max. Werkzeugabmessungen	1.800 x 900 mm

de in Folge des Auftreffens des Schneidstempels ① auf den Blechwerkstoff und des nachfolgenden Kraftanstiegs ② eine Verkipfung des Stößels ③ gemessen (Bild 10).

Übersteigt die kraftinitiierte Spannung die materialcharakteristische Schubfließgrenze, tritt zunächst eine Einschnürung und zuletzt beim Erreichen des Formänderungsvermögens der Trennbruch ein ④. Nach der Materialtrennung folgt eine ruckartige Entlastung der im Pressengestell und Schneidwerkzeug gespeicherten Energie. Es kommt zum Schnittschlag, welcher zu einem hochfrequenten Schwingverhalten des Stempels führt ⑤.

Da der Stößel beim Scherschneidprozess im Allgemeinen eine Einheit mit dem Stempel bildet, hat die ermittelte Stößelkipfung zur Folge, dass auch der Schneidstempel während des Schnittes verkippt und somit der Schneidspalt über dem Stempelumfang beziehungsweise der Schnittkantenlänge ungleichmäßig groß ist. Dieser Umstand führt zu einer Veränderung der Schnittflächenqualität über der Schnittkantenlänge der Versuchsprobe



Bild 9. Verlagerungsmessung mittels Verlagerungsmesssystem GOM Pontos. Foto: IFUM

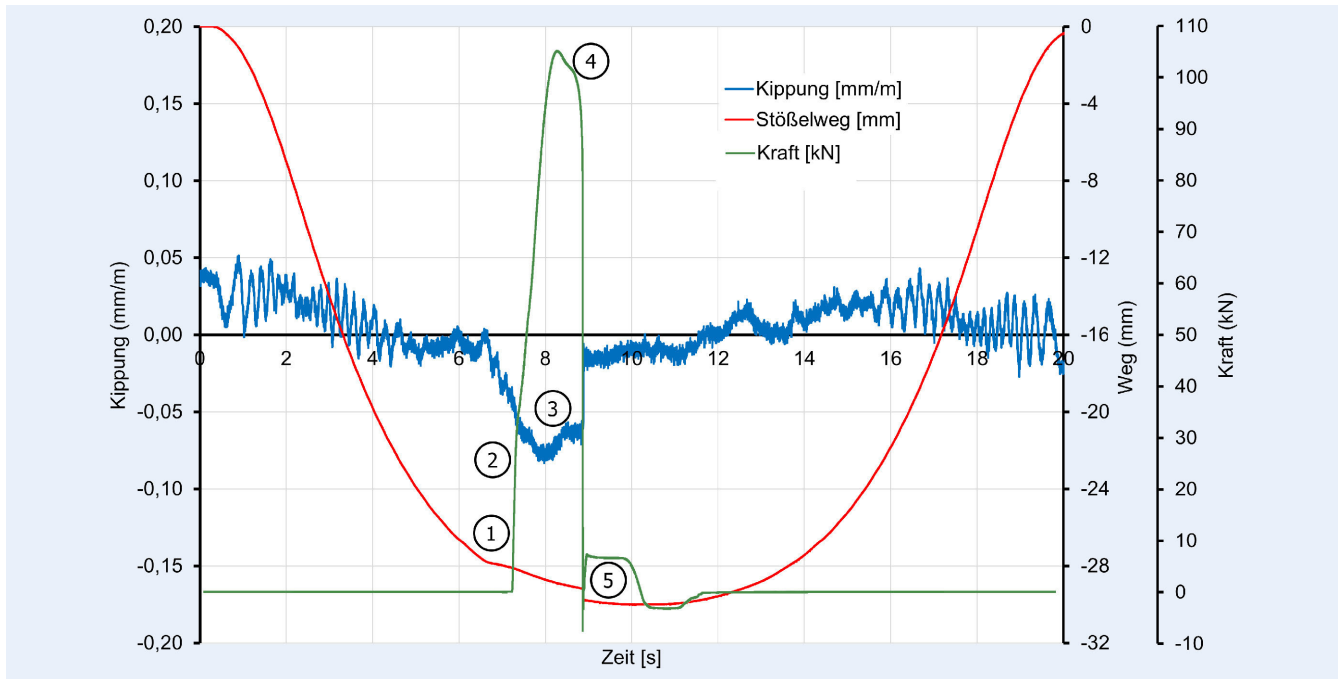


Bild 10. Kippung des Pressenstößels (Werkstoff X5CrNi18-10, Blechstärke 1,5 mm). Grafik: IFUM

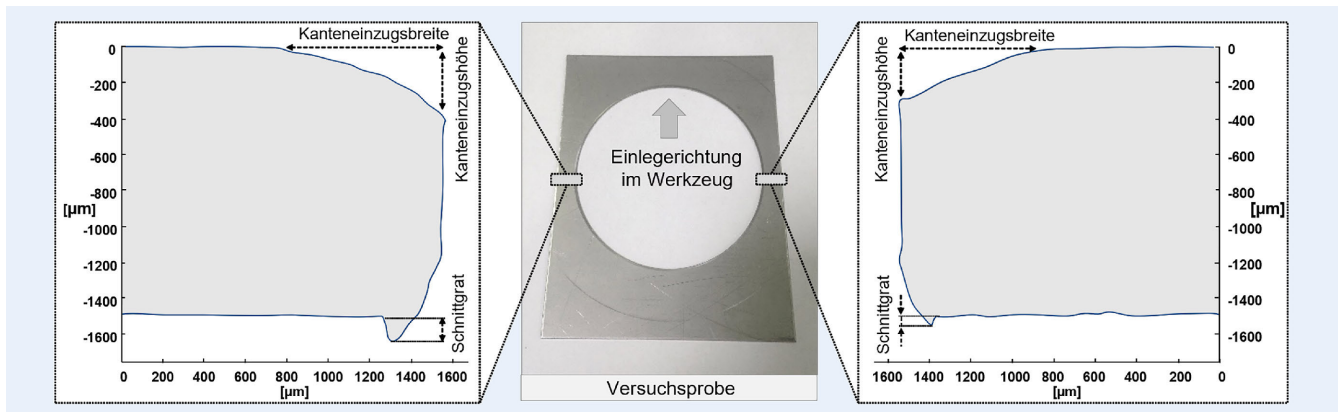


Bild 11. Schnittflächenqualität über der Schnittkantenlänge der Versuchsprobe (Werkstoff X5CrNi18-10, Blechstärke 1,5 mm). Grafik: IFUM

(Bild 11). Hier ist vor allem der Einfluss der Stößelkippung auf die Größe des Kanteneinzugs und des Schnittgrats zu nennen.

### 3.2 Ermittlung der Anfangsverlagerung aufgrund von LagerSpielen

Zur Bestimmung der vertikalen Anfangsverlagerung, etwa aufgrund von Wälzlagerspielen, wurde eine statische Pressenvermessung in Anlehnung an DIN 55189 [7] durchgeführt. Gemäß der in Bild 12 gezeigten Anordnung wurden vier Messtaster und eine hydraulische Belastungseinheit auf dem Pressentisch platziert.

Die Belastungseinheit setzt sich aus einem Druckkissen, mit dem die Kraft eingeleitet wird, und einer Ausgleichsvorrichtung zur Vermeidung einer Rückwirkung auf die Maschinenverformung zusammen. Der Stößel wird kraftlos auf die Belastungseinheit gefahren und anschließend werden die Messtaster so eingestellt, dass sie vorgespannt gegen den Stößel drücken. Mit der Aufbringung eines Druckes im Druckkissen wird eine definierte Kraft (bis zur Hälfte der Pressennennkraft, da ab dort eine Extra-

polarisation der Messwerte auf die Pressennennkraft möglich ist) in den Stößel eingeleitet und über die Messtaster die Abstandsänderung des Stößels gegenüber dem Tisch in vertikaler Richtung erfasst. Zur Bestimmung der Verlagerung wird der arithmetische Mittelwert aller Messtaster gebildet.

Die so ermittelte Kurve (Bild 10) lässt sich in zwei Bereiche unterteilen. Neben dem Bereich der nicht linearen Anfangsverlagerung besteht ein elastischer Bereich, in dem sich die Presse ähnlich einer linearen Feder verhält. Das Ergebnis ist in Bild 13 dargestellt. Die Anfangsverlagerung beträgt knapp 0,6 mm bis zu einer Kraft von circa 100 kN.

### 3.3 Reduzierung der Anfangsverlagerung

Zur Vermeidung eines ungleichmäßigen Schneidspaltes und für einen prozesssicheren Betrieb der Presse bei wechselnder Belastung müssen die Maschineneigenschaften in der Form verbessert werden, sodass die Anfangsverlagerung nicht mehr auftritt, da sie bei begrenzter außermittiger Belastung in einer Kippung

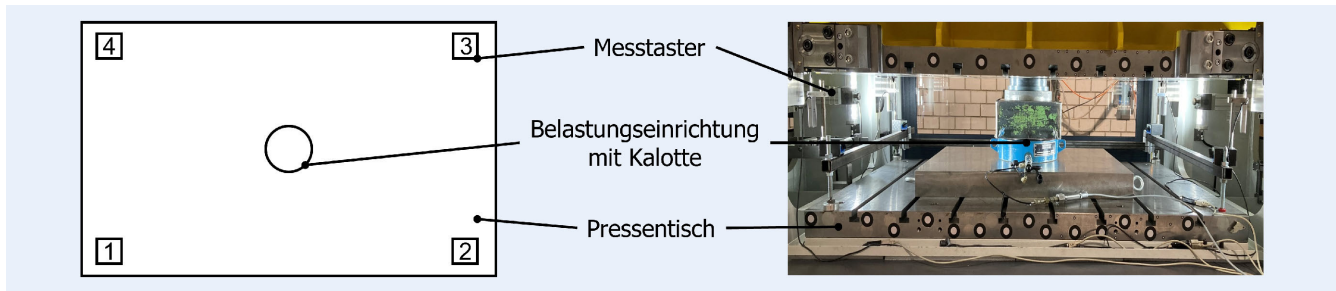


Bild 12. Schematische Messanordnung nach DIN 55189 [7] (links) und reale Messanordnung in der Umformmaschine (rechts). Grafik: IFUM

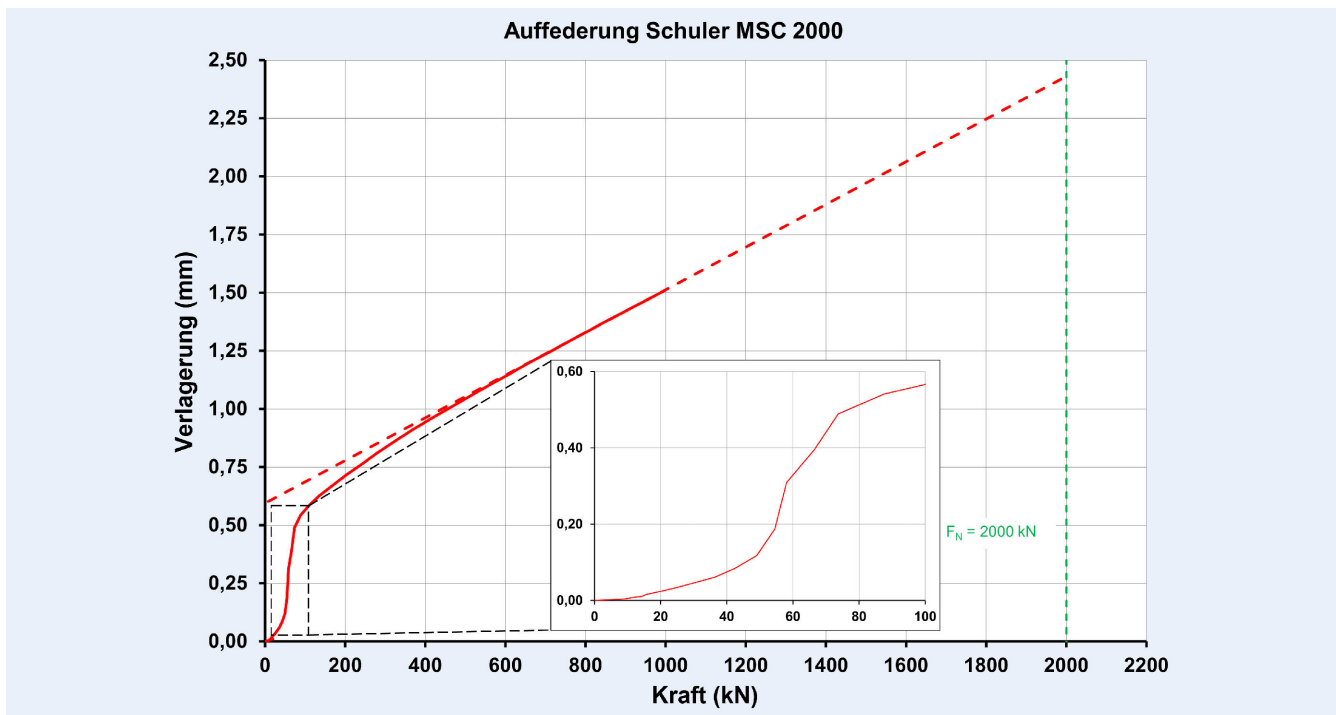


Bild 13. Vertikale Verlagerung der Schuler „MSC 2000“ bei statischer Belastung. Grafik: IFUM

des Stößels resultiert. Zu diesem Zweck wurde ein System aus Pneumatikzylindern und Druckspeichern zur Minderung von Lagerspielen, ein Stößelgewichtsausgleich (SGA), installiert.

Die benötigten Pneumatikzylinder wurden so ausgewählt, dass sie bei einem Betriebsdruck von 6 bar genügend Kraft aufbringen können, um nicht nur das Stößelgewicht, sondern auch alle Lagerspiele im Antriebsstrang zu überwinden. Danach wurde anhand des CAD-Modells der Versuchspresse ein Integrationskonzept erarbeitet, auskonstruiert und gefertigt. Bild 14 zeigt das vereinfachte Pressenmodell samt nachgerüstetem Stößelgewichtsausgleich.

Das System besteht aus vier separaten Einheiten mit je einem Pneumatikzylinder, einem Druckspeicher sowie einer Koppelstange, die über einen Befestigungsrahmen mit dem Stößel verbunden sind. Nach Montage des SGA in der Presse wurde erneut eine Kippungs- sowie Pressenvermessung durchgeführt und mit der Ausgangssituation verglichen.

In Bild 15 ist zu erkennen, dass die Kippung des Stößels © während des Schneidprozesses mit aktivem SGA deutlich reduziert werden kann. Ferner dient der SGA auch zur Dämpfung des Schnittschlags nach dem Materialabriss ©.

Eine Validierung anhand einer erneuten Messung der Verlagerung (Bild 16) zeigt, dass mittels SGA die Anfangsverlagerung aufgrund der Lagerspiele von circa 0,6 mm eliminiert werden kann und es lediglich zur elastischen Verlagerung der Presse unter Last kommt. Somit kann eine undefinierte Verkipfung des Stößels im Bereich der ersten 5% der Pressennennkraft vermieden werden.

## 4 Experimentelle Scherschneidversuche

Auf der so nachgerüsteten Presse wurden Schneidversuche mit einem Lochwerkzeug mit rundem Schneidstempel ( $\varnothing$  35 mm) durchgeführt sowie Versuchsproben aus dem Dualphasenstahl HCT980 (1.0944) und dem austenitischen Chrom-Nickel-Stahl X5CrNi18-10 (1.4301) mit den Abmessungen 50 mm x 50 mm und einer Blechstärke von 1 mm beziehungsweise 1,5 mm. Die Proben wurden händisch in das Schneidwerkzeug eingelegt und an Anschlägen ausgerichtet. Die Versuche wurden bei einem relativen Schneidspalt von 5%, 10% und 15% der Blechdicke bei einer Hubzahl von 3 Hub pro Minute und einer Hubhöhe von 30 mm eingestellt. Die Niederhalterkraft wurde auf jeweils 20% der Schneidkraft eingestellt. Die Parameterstudien wurden jeweils



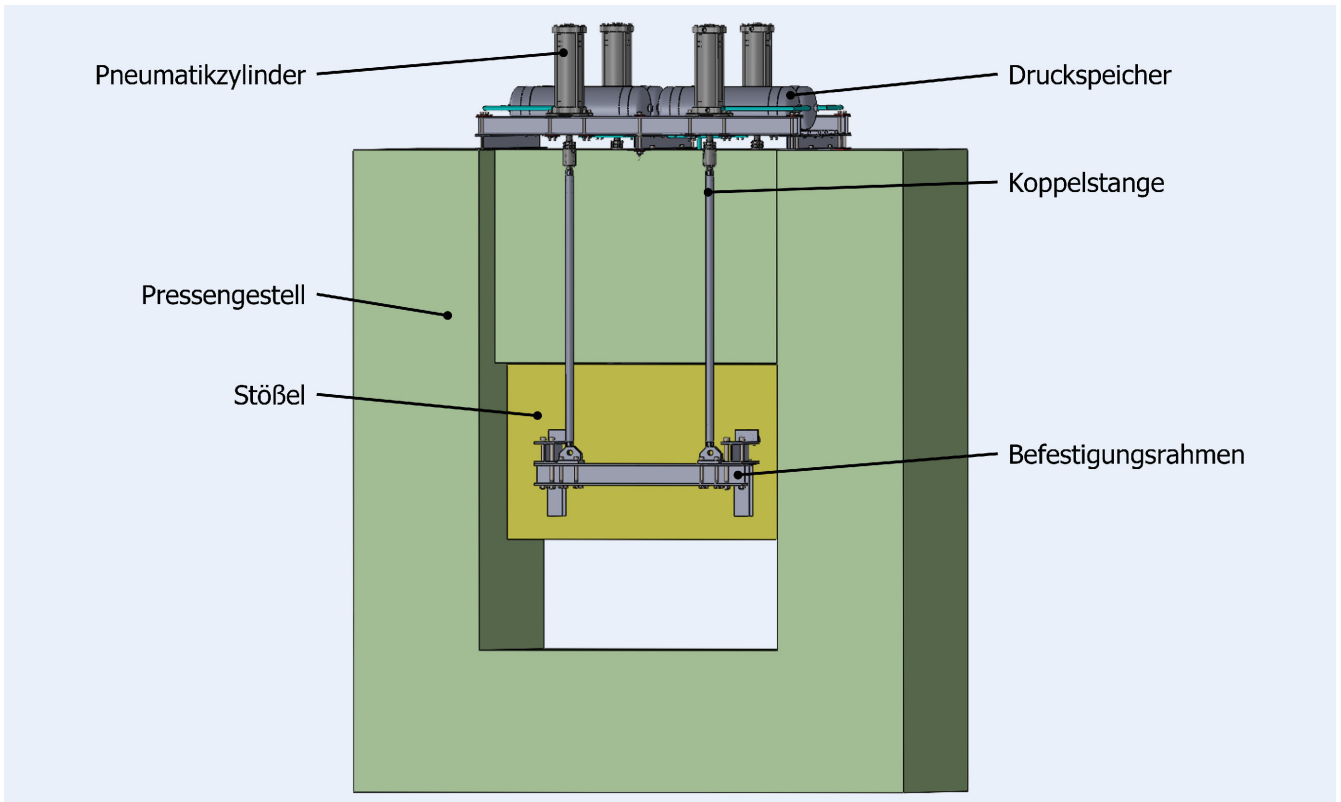


Bild 14. Pressenmodell mit montiertem Stößelgewichtsausgleich. Grafik: IFUM

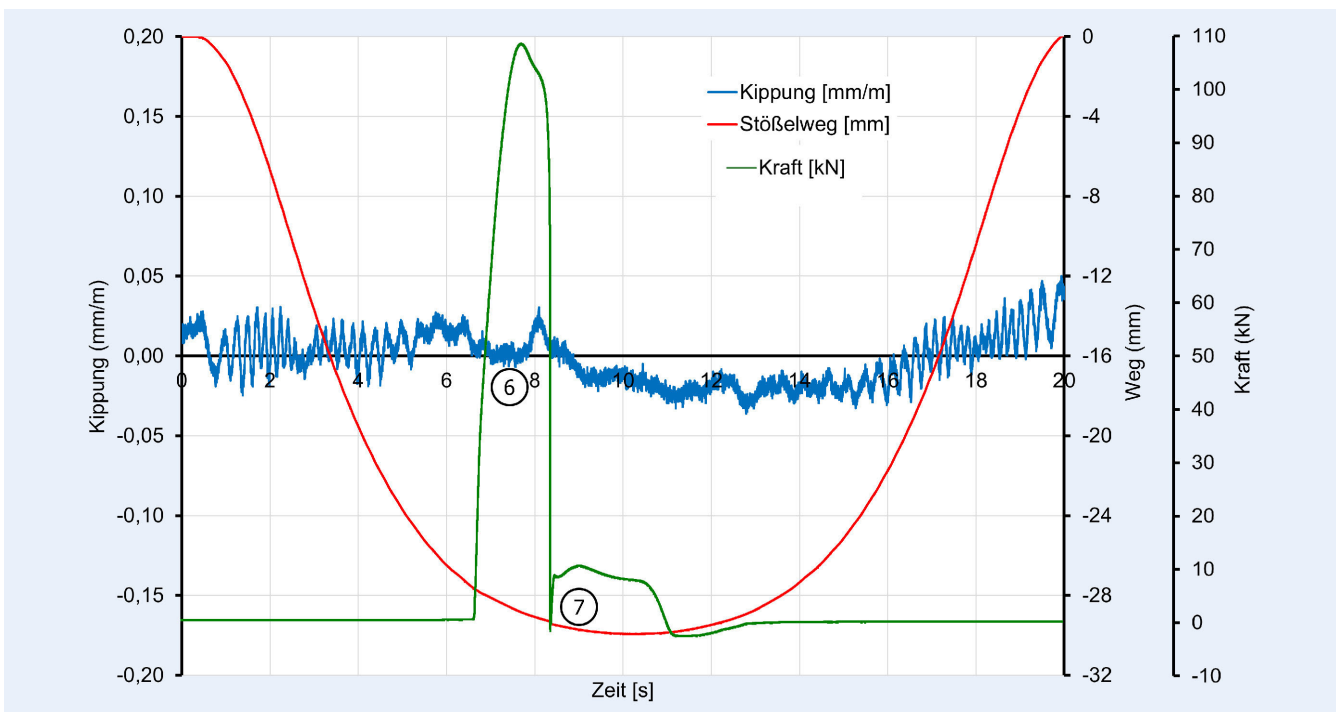


Bild 15. Kippung des Pressenstößels mit aktivem Stößelgewichtsausgleich (Werkstoff X5CrNi18-10, Blechstärke 1,5 mm). Grafik: IFUM

mit und ohne aktivem SGA durchgeführt und anschließend die einzelnen Schnittflächenkenngrößen anhand von Schlibbildern analysiert.

#### 4.1 Einfluss der Blechdicke

Die Schnittflächenkenngrößen an Schnittflächen des Werkstoffs X5CrNi18-10 bei 1 mm Blechdicke mit und ohne SGA

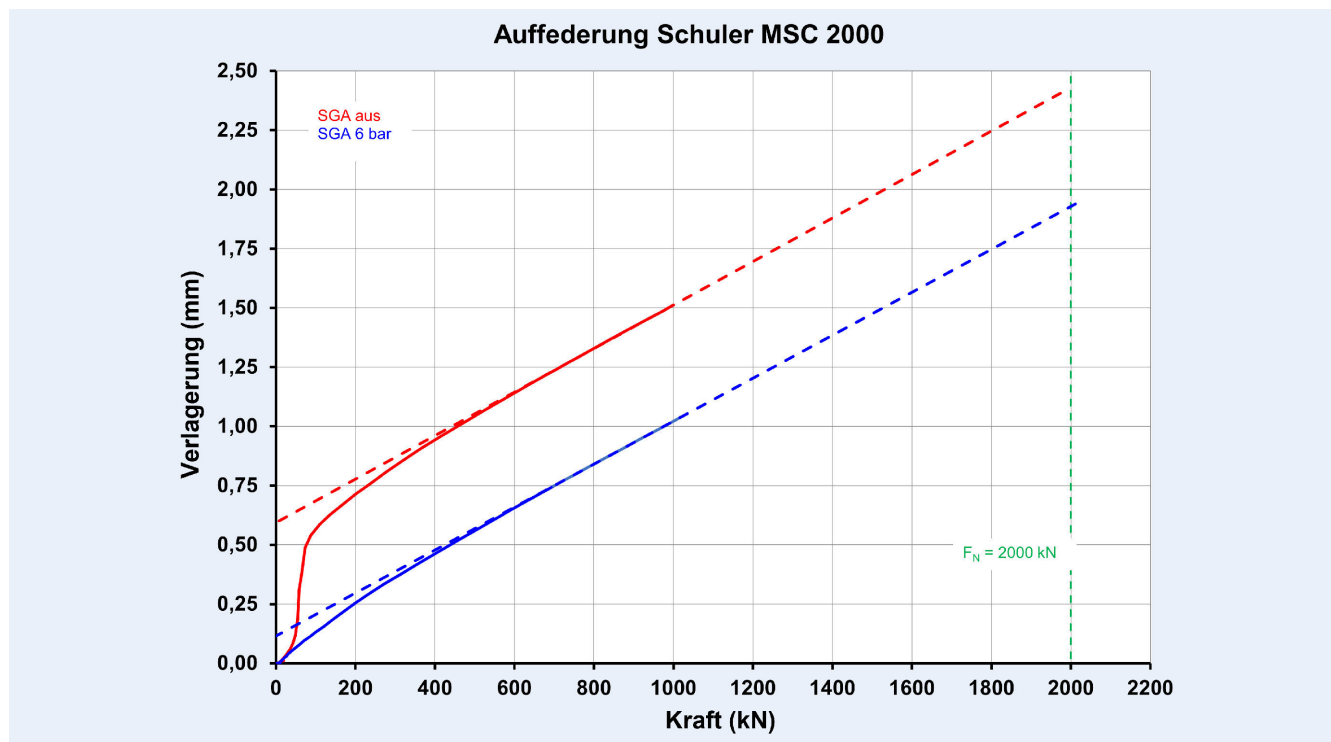


Bild 16. Vergleich der vertikalen Verlagerung der Schuler MSC 2000 bei statischer Belastung mit und ohne Stößelgewichtsausgleich. Grafik: IFUM

sowie der jeweiligen Position (siehe Bild 8) sind in **Bild 17** gegenübergestellt.

Die einzelnen Werte sind prozentual zur Blechdicke abgebildet. Es ist deutlich sichtbar, dass der Stößelgewichtsausgleich die Schnittflächegeometrie direkt beeinflusst. Ein aktiver SGA führt zu einer charakteristischen Erhöhung des Glattschnittanteils und des Bruchflächenwinkels sowie zu einer Reduzierung des Bruchflächenhöhe. Hingegen hat der SGA keinen signifikanten Einfluss auf die Kanteneinzugshöhe sowie die Schnittgrathöhe.

Bei einer Blechdicke von 1,5 mm verringert sich der Einfluss des Stößelgewichtsausgleichs auf die Schnittflächenkenngrößen deutlich. In **Bild 18** ist zwar noch eine Verbesserung der Glattschnitthöhe und des Bruchflächenwinkels sowie eine Reduzierung der Bruchflächenhöhe mittels SGA zu erkennen, jedoch in einem weitaus geringeren Ausmaß als bei 1 mm Blechstärke. Ein Einfluss auf Kanteneinzugshöhe beziehungsweise Schnittgrathöhe lässt sich ebenfalls nicht erkennen.

Es zeigt sich, dass bei beiden Blechdicken auf der rechten Seite gegenüber der linken Seite sowohl mit als auch ohne SGA ein deutlich höherer Glattschnittanteil auftritt. Mögliche Gründe könnten Parallelitätsfehler einzelner Werkzeugkomponenten sein. Diese würden sich aufsummieren und bereits im unbelasteten Zustand für eine Anfangsverkippung des Stempels sorgen. Eine solche Verkippung kann nicht mittels SGA ausgeglichen werden und müsste separat kompensiert werden.

Der sinkende Einfluss des SGA mit wachsender Blechdicke ist mit der erhöhten Schneidkraft zu erklären. Zur Materialtrennung von X5CrNi18-10 in 1 mm Blechdicke sind circa 70 kN notwendig. Wie in Kapitel 3.2 gezeigt, wären etwa 100 kN nötig, um die Anfangsverlagerung zu überwinden und eine undefinierte Stößelkippung ohne den Einsatz des SGA zu eliminieren. Das heißt, beim Schneiden des Werkstoffs X5CrNi18-10 in 1 mm ohne SGA können unkontrollierte Kippungen des Stößels auftre-

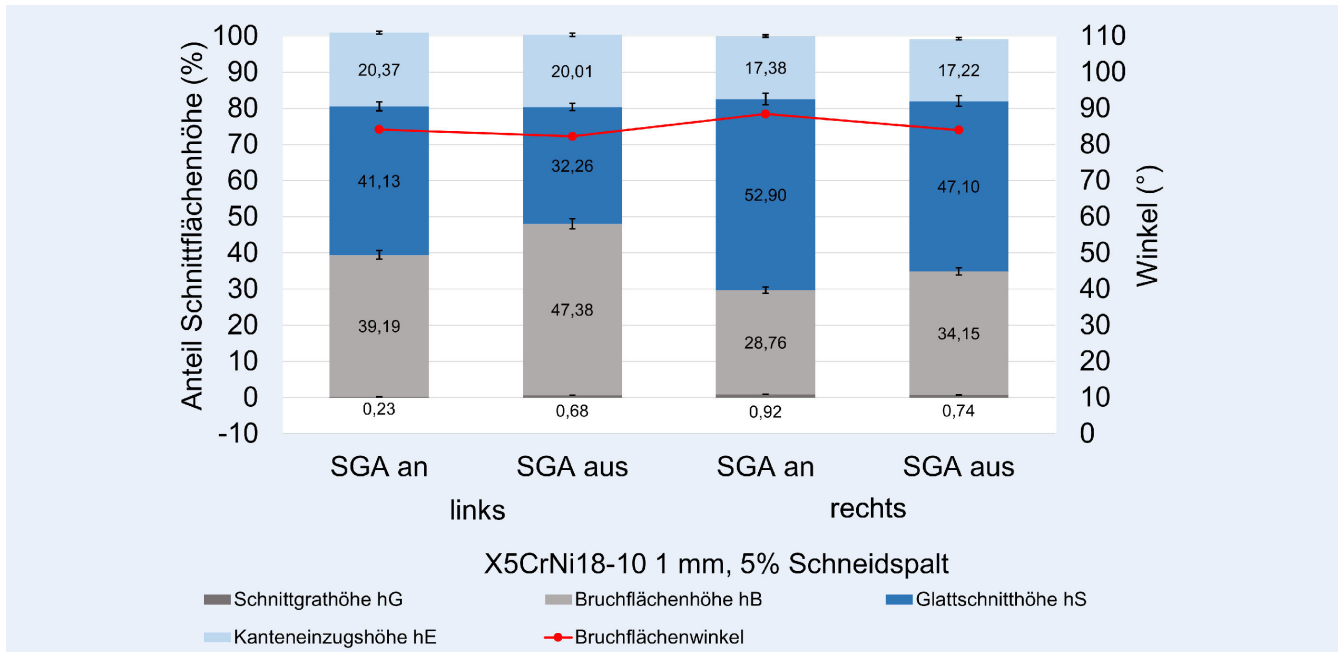
ten. Bei einer Blechdicke von 1,5 mm wird dagegen eine Schneidkraft von circa 100 kN benötigt. Noch vor der Materialtrennung sind somit die Lagerspiele vollständig überwunden und es stellt sich eine ähnliche Stößellage und ähnliche Schneidspalte über dem Stempelumfang ein wie beim Schneiden mit aktivem SGA. Die während des Kraftanstiegs auftretende Stößelkippung spielt im Vergleich zu der Endlage eine untergeordnete Rolle und hat somit zwar eine nachweisbare, aber geringere Auswirkung auf die Schnittkanten geometrien.

## 4.2 Einfluss des Schneidspaltes

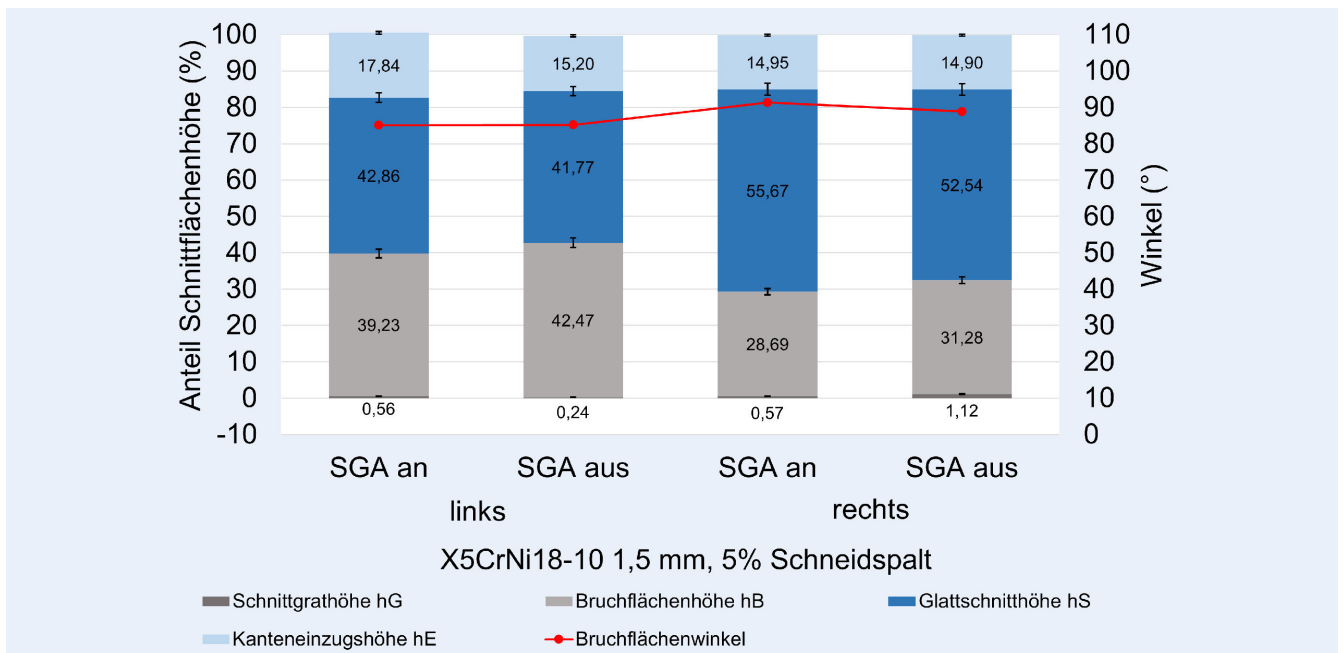
Die entsprechenden Schnittflächenkennwerte des geschnittenen Werkstoffs HCT980 in 1 mm Blechstärke bei unterschiedlichen Schneidspalten sind in **Bild 19** und **Bild 20** dargestellt.

Im Gegensatz zu dem duktilen Werkstoff X5CrNi18-10, der einen vergleichsweise hohen Glattschnittanteil aufweist, tritt bei dem Werkstoff HCT980 eine spröde Materialtrennung und somit ein sehr großer Bruchflächenanteil auf. Der Einsatz des Stößelgewichtsausgleichs weist weder bei 5 % noch bei 15 % Schneidspalt eine Auswirkung auf die Schnittkantenkenngrößen auf. Die Schneidkraft mit knapp 80 kN liegt genau im Übergangsbereich von nicht linearer Anfangsverlagerung zur elastischen Verlagerung (siehe Bild 13). Die erzielten Schneidergebnisse lassen vermuten, dass bei dieser Kraft die Lagerspiele bereits vollständig überwunden sind und die restliche Nichtlinearität infolge anderer Einflüsse wie beispielsweise von Fugstellen ist. Somit ist der Schneidspalt bei Materialtrennung über dem Stempelumfang mit und ohne SGA nahezu identisch und kein Unterschied in der Schnittflächenqualität erkennbar.

Eine Erhöhung des Schneidspaltes führt jedoch, wie zu erwarten, zur Erhöhung der Kanteneinzugshöhe sowie der Schnittgrathöhe.



**Bild 17.** Schnittflächenhöhen des geschnittenen Werkstoffs X5CrNi18-10 (5% Schneidspalt, 1 mm Blechdicke) mit und ohne Stößelgewichtsausgleich.  
Grafik: IFUM



**Bild 18.** Schnittflächenhöhen des geschnittenen Werkstoffs X5CrNi18-10 (5% Schneidspalt, 1,5 mm Blechdicke) mit und ohne Stößelgewichtsausgleich.  
Grafik: IFUM

Wie in Kapitel 4.1 gezeigt wurde, führt eine Reduzierung der Maschineneinflüsse (Anfangsverlagerung) durch Stößelgewichtsausgleich bei dem duktilen Werkstoff X5CrNi18-10 zu einer Verbesserung der Schnittflächenqualität. Im Gegensatz zum Werkstoff X5CrNi18-10 weisen die Schneidergebnisse des Werkstoffs HCT980, unabhängig vom Betriebszustand des Stößelgewichtsausgleiches, keine signifikanten Unterschiede der Schnittflächenkenngrößen zwischen der linken und rechten betrachteten Lochumfangsseite auf. Dies legt den Einfluss weite-

rer Faktoren nahe, welche über die hier untersuchte spielbedingte Stößelkippung hinausgehen. Dabei könnte es sich um weitere werkzeug- und/oder werkstoffspezifische Faktoren handeln, wie etwa die Unterschiede in den elastischen Eigenschaften der jeweiligen am Prozess beteiligten werkzeug- und halbzeugseitigen Werkstoffe.

Anders als beim Werkstoff HCT980 setzt die plastische Verformung aufgrund der geringeren Schubfließgrenze beim Werkstoff X5CrNi18-10 bei vergleichsweise geringen Spannungen

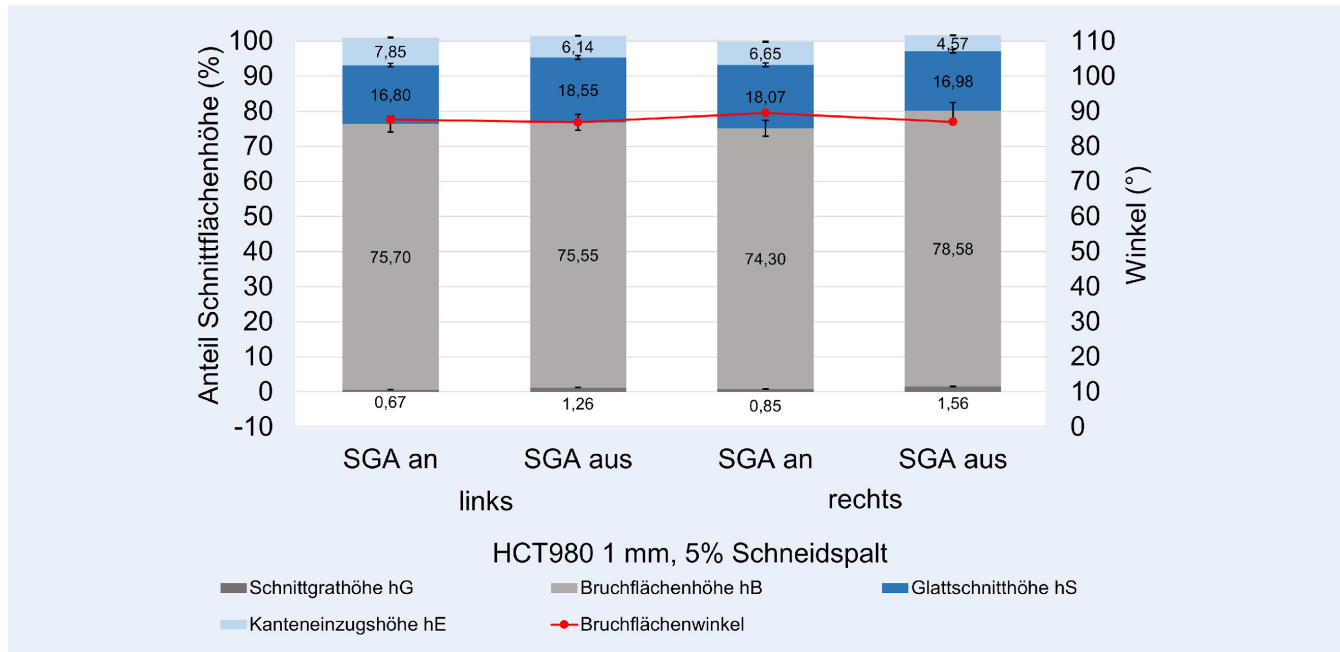


Bild 19. Schnittflächenhöhen des geschnittenen Werkstoffs HCT980 (5% Schneidspalt, 1 mm Blechdicke) mit und ohne Stößelgewichtsausgleich. Grafik: IFUM

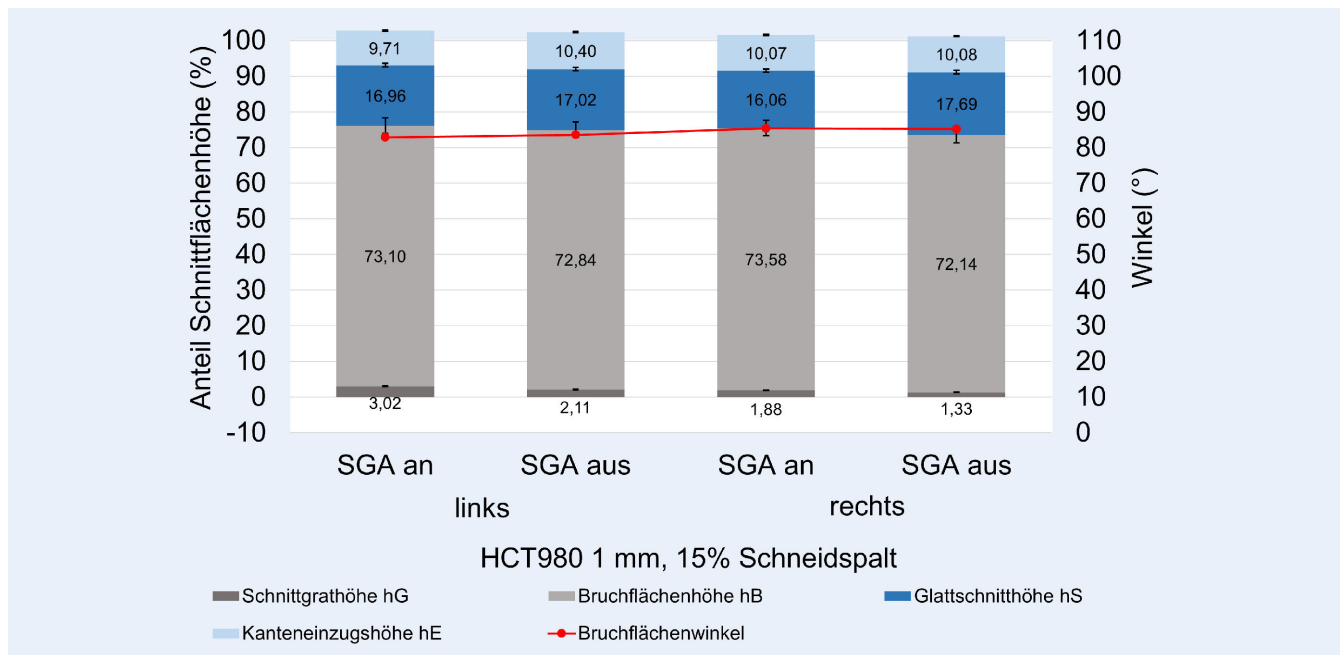


Bild 20. Schnittflächenhöhen des geschnittenen Werkstoffs HCT980 (15% Schneidspalt, 1 mm Blechdicke) mit und ohne Stößelgewichtsausgleich. Grafik: IFUM

ein. Die zum Trennen des Blechwerkstoffs nötigen, kraftinitiierten Spannungen beim Scherschneiden führen gemäß Wechselwirkungsprinzip zu einer entsprechenden Gegenkraft. Eine solche Gegenkraft wird über den Stempel, die Werkzeugkopfplatte und den Stößel schließlich aus dem Pressenantrieb bereitgestellt und kann in den jeweiligen Komponenten zu materialspezifischen Effekten wie etwa elastischen Stauchungen führen.

Der Stempel (X155CrVMo12-1) ist gehärtet und kann im Vergleich zur Kopfplatte (S235JR) und dem Blech als annähernd starr betrachtet werden. Zum Erreichen der Schubfließgrenze ist

beim Werkstoff HCT980 mehr Kraft nötig als beim Werkstoff X5CrNi18-10. Die so bedingte größere Gegenkraft könnte zu lokalen Stauchungen der Kopfplatte führen, somit eine anfängliche Stempelkippung infolge von Parallelitätsfehlern im Werkzeug kompensieren und für einen konstanten Schneidspalt über den Umfang sorgen. Zudem haben die Lagerspiele vermutlich infolge der benötigten Schneidkraft keinen Einfluss mehr und es tritt beim Schneiden des Werkstoffs HCT980 kein signifikanter Unterschied (mit oder ohne SGA) bei der Schnittflächenqualität zwischen linker und rechter Seite auf.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Spielbehaftete Wälzlager in Kniehebelpressen haben bei quasi-statischer Belastung in Schneidprozessen eine unkontrollierte Kippung des Stößels zur Folge. Dies hat Einfluss auf die Schnittflächenqualität der gefertigten Bauteile. Daher wurde ein nachrüstbares System zum Ausgleich der maschinenabhängigen Anfangsverlagerung konzipiert, konstruiert und in die Presse integriert. Dies ermöglicht es, die Lagerspiele zu überwinden und die auftretende Stößelkippung zu minimieren.

Anschließend wurden experimentelle Schneidversuche mit Parametervariationen durchgeführt und anhand von Schliffbildern ausgewertet. Es konnte gezeigt werden, dass der Stößelgewichtsungleich beim Schneiden des Werkstoffs X5CrNi18–10 zu einer Verbesserung der Schnittkantenqualität führt. Jedoch treten dabei deutliche Unterschiede zwischen der rechten und der linken ausgewerteten Lochumfangseite auf. Eine mögliche Ursache für diese Diskrepanz könnte eine Anfangskippung des Stempels aufgrund von fertigungsbedingten Parallelitätsfehlern einzelner Werkzeugkomponenten sein. Dies erfordert weitere Untersuchungen des Winkels zwischen Stempel und Blech vor Beginn des Schneidens. Dagegen treten bei dem Dualphasenstahl HCT980 weder erkennbare Verbesserungen der Schnittflächenqualität mittels SGA auf noch lassen sich signifikante Unterschiede zwischen den betrachteten Seiten erkennen. Zum einen sorgen die höheren Schneidkräfte für das Überwinden der Lagerspiele und somit für ähnliche Randbedingungen wie mit SGA. Zum anderen wird vermutet, dass diese größeren Kräfte zu lokalen Stauchungen der Kopfplatte führen, mittels der die anfängliche Stempelkippung kompensiert werden könnte.

Die Auswertung der Ergebnisse legt nahe, dass neben Maschineneinflüssen weitere werkstoff- und/oder werkzeugbedingte Effekte eine Rolle spielen, welche nicht, wie ursprünglich vermutet, vernachlässigbar sind. Aufbauend auf diesen Ergebnissen kann ein temperaturunabhängiges Schädigungsmodell beim Schneiden entwickelt werden. Zur Validierung rein mechanischer Schädigungsmodelle werden hingegen weitere Schnittflächenuntersuchungen benötigt, bei denen weitere relevante Einflussfaktoren auf den Schneidprozess minimiert sind.

### FÖRDERHINWEIS

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG),  
Projektnummer BE1691/133–4.


### Literatur

- [1] Altan, T.; Subramonian, S.; Campbell, C. et al.: Determination of forces in high speed blanking using FEM and experiments. *Journal of Materials Processing Technology* 213 (2013) 12, pp.2184–2190
- [2] Doege, E.; Behrens, B.-A.: *Handbuch Umformtechnik: Grundlagen, Technologien, Maschinen*. Berlin: Springer Vieweg 2016
- [3] Neugebauer, R.; Putz, M.; Bränlich, H. et al.: *Schneiden und Lochen – Ein Entwicklungsorientierter Bereich der Blechverarbeitung*. In: Siegert, K. (Hrsg.): *Neuere Entwicklungen in der Blechumformung*. Fellbach: IFU Uni Stuttgart 2004, S. 255–276
- [4] Deutsches Institut für Normung: *DIN 8580: Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung*. Ausgabe September 2003
- [5] Behrens, B.-A.; Schaeper, E.: Nachweis der Praxistauglichkeit einer Online-Schneidspaltregelung zur Schnittgratminimierung. *EFB-Forschungsbericht*. Hannover: Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung 2004
- [6] Lange, K.: *Umformtechnik Handbuch für Industrie und Wissenschaft*. Band 3 Blechbearbeitung. Berlin: Springer Verlag 1990
- [7] Schaeper, E. F.: *Mehr Flexibilität und weniger Verschleiß beim Scherschneiden durch ein neues Werkzeugkonzept mit adaptivem Schneidspalt*. Dissertation, Leibniz Universität Hannover, 2008
- [8] Fritz, A. H., Schmütz, J.: *Fertigungstechnik*. Berlin: Springer Vieweg 2022
- [9] VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik: *VDI Richtlinie 2906 Blatt 1–5: Schnittflächenqualität beim Schneiden, Beschneiden und Lochen von Werkstücken aus Metall*. Berlin: Beuth Verlag 1994
- [10] Romanowski, W.P.: *Handbuch der Stanzereitechnik*. Berlin: VEB Verlag Technik 1959
- [11] Kolbe, M.: *Stanztechnik – Grundlagen – Werkzeuge – Maschinen*. Wiesbaden: Springer Vieweg 2020
- [12] Dietrich, J.: *Praxis der Umformtechnik – Umform- und Zerteilverfahren, Werkzeuge, Maschinen*. Wiesbaden: Springer Vieweg 2018
- [13] Lange, K.: *Umformtechnik – Handbuch für Industrie und Wissenschaft*. Band 1: Grundlagen. Berlin: Springer Verlag 1984
- [14] Schuler GmbH: *Metal forming Handbook*. Berlin: Springer Verlag 1998
- [15] Kroiß, T.: *Modellbasierte Prozessauslegung für die Kaltmassivumformung unter Berücksichtigung der Werkzeug- und Pressenauffederung*. Dissertation, Universität Erlangen, 2012
- [16] Bender, B., Göhlich, D.: *Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau 2: Anwendungen*. Berlin: Springer Vieweg 2020
- [17] Schaeffler Technologies AG & Co. KG: *Wälzlagerschäden – Schadenserkennung und Begutachtung gelaufener Wälzlager*, Publ.-Nr. WL 82 102/2 DA. Stand: 2000. Internet: [www.schaeffler.com/remotemedien/media/\\_shared\\_media/08\\_media\\_library/01\\_publications/schaeffler\\_2/publication/downloads\\_18/wl\\_82102\\_2\\_de\\_de.pdf](http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/publication/downloads_18/wl_82102_2_de_de.pdf). Zugriff am 09.10.2024
- [18] Deutsches Institut für Normung e. V.: *DIN 55189 Ermittlung von Kennwerten für Pressen der Blechverarbeitung bei statischer Belastung*. Ausgabe 1988
- [19] Kuhn, D.: *Servopressen sorgen für eine flexiblere Produktion und breitere Anwendungspalette*. *MM – Das Industrie Magazin* (2007) 7, S. 24–25
- [20] Osakada, K.; Mori, K.; Altan, T. et al.: *Mechanical servo press technology for metal forming*. *CIRP Annals Manufacturing Technology* 60 (2011) 2, pp. 651–672



**Dennis Schmiele, M.Sc.**   
schmiele@ifum.uni-hannover.de  
Tel. +49 511 / 762-5774  
Foto: Autor

**Dietmar Friesen, M.Sc.** 

**Dr.-Ing. Richard Krimm** 

**Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens** 

Leibniz Universität Hannover  
Institut für Umformtechnik  
und Umformmaschinen IFUM   
An der Universität 2, 30823 Garbsen  
Tel. +49 511 / 762-2264  
[www.ifum.uni-hannover.de](http://www.ifum.uni-hannover.de)

### LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons  
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)