

# Automatisierung der flexiblen Handhabung schmiedewarmer Tailored Forming Bauteile

## Automation of flexible handling of hot forged Tailored Forming components

Caner-Veli Ince, Leibniz Universität Hannover, Institut für Montagetechnik, 30823 Garbsen, Deutschland, ince@match.uni-hannover.de

Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz, Leibniz Universität Hannover, Institut für Montagetechnik, 30823 Garbsen, Deutschland

### Kurzfassung

Universalgreifer sind flexibel einsetzbar und können sich an verschiedene Situationen und Objekte anpassen. Aktuelle formvariable Universalgreifer bestehen überwiegend aus monolithischen polymeren Werkstoffen, deren maximale Einsatztemperaturen bei 300 °C liegen. Somit kann von der Formflexibilität nicht in Bereich profitiert werden in denen höhere Temperaturen vorherrschen und die zu handhabenden Objekte Umformungsprozesse durchschreiten. Solch ein Bereich ist der Schmiedesektor, bei dem die Objekte Temperaturen von bis zu 1250 °C erreichen. Die vorliegende Diskrepanz zwischen der Formvariabilität der Greifer und den Prozesstemperaturen im Schmiedesektor versuchen wir zu schließen. In dieser Arbeit stellen wir das von uns entwickelte Konzept eines formvariablen hochtemperaturbeständigem Handhabungssystem und deren praktische Umsetzung vor, sowie die noch zu lösenden Herausforderungen.

### Abstract

Universal grippers are flexible and can adapt to different situations and objects. The shape variability has limitations, for example, the temperature. For manufacturing such shape variable grippers, elastic polymer materials are used. The material has an upper limit of the operating temperature of 300 °C. In the forging sector, the manufactured object change their geometry during the process and reaches temperature up 1250 °C. Here, we see the potential of the utilization of shape variable grippers. Therefore, we developed a system that overcomes the gap between the temperature limitation of current shape variable grippers and the high temperature in forging environments. This paper presents our gripper and the task to be solved in future works.

## 1 Einleitung

Formvariable Handhabungssysteme haben den großen Vorteil, dass sie sich an unterschiedliche Geometrien anpassen können, wodurch sie universell einsetzbar sind. Der von Shintake et al. aufgestellte Vergleich zeigt, dass die betrachteten Greifer eine Gemeinsamkeit aufweisen: Sie sind aus einem elastischen polymeren Material gefertigt. Das polymere Material hat den Vorteil, dass es sich elastisch verhält. In Kombination mit verschiedenen physikalischen Effekten wie dem Granular Jamming [1] oder dem Fin Ray Effect [2] ergibt sich ein universell einsetzbares Handhabungssystem. Neben den Vorteilen des elastischen Polymermaterials liegt allerdings auch ein negativer Aspekt vor, der den Einsatz eines solchen Greifers limitiert. Hierbei handelt es sich um die Einsatztemperatur, die bei Polymerwerkstoffen maximal 300 °C betragen darf [3]. Für die meisten Anwendungsfälle wird diese Temperatur nicht überschritten und beeinträchtigt somit nicht den Einsatz. In dem betrachteten Fall wollen wir die Anwendung im Schmiedebereich untersuchen, weil die Objekte durch Umformprozesse geometrisch verändert werden. Für die Automatisierung dieser Prozesse wäre ein Handhabungssystem von Vorteil, das sich an die Formveränderung des Handhabungsobjekts adaptiert. Bei Umformprozessen im Schmiedebereich treten Temperaturen von bis 1250 °C auf,

wodurch eine Diskrepanz zwischen den Einsatztemperaturen der formvariablen Greifer und der Bedingungen im Schmiedebereich gegeben ist.

Deswegen befasst sich dieser Beitrag mit der Konzeptionierung eines formvariablen Greifers und dessen Umsetzung, der für die Handhabung schmiedewarmer Bauteile ausgelegt ist. Neben der konstruktiven Umsetzung, wird ebenfalls auf die Regelung des Systems eingegangen und konzeptionell vorgestellt. Der entwickelte Greifer ist prinzipiell für jeglichen Schmiedeprozess anwendbar, wird aber am Tailored Forming ausgelegt, da im Rahmen des Tailored Formings die Entwicklung und Umsetzung des Greifers erfolgt. Deswegen werden zunächst die Rahmenbedingungen des Tailored Formings definiert. Hierbei handelt es sich um einen neuartigen Prozess, der die Herstellung belastungsangepasster hybrider Massivbauteile untersucht. Anschließend wird ein kurzer Überblick über aktuelle formvariable Greifer gegeben. Anhand des Überblicks wird die Wahl eines Konzeptes für die Umsetzung getroffen. Dann folgt die Vorstellung des entwickelten Konzeptes für die Konstruktion und die Regelung. Abschließend wird eine Zusammenfassung des Beitrages mit Ausblick für zukünftige Arbeiten gegeben.

## 2 Ausgangslage

In diesem Abschnitt werden die Rahmenbedingungen für die Konzeption erläutert und es folgt ein kurzer Überblick über aktuelle formvariable Greifer. Dadurch soll es möglich sein, Vorteile und Nachteile einzelner Greiferarten mit Bezug auf den Schmiedeprozess zu evaluieren.

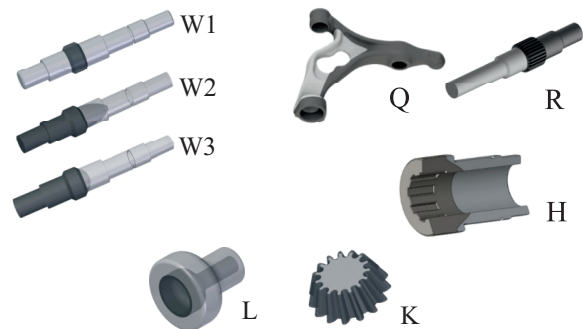
### 2.1 Randbedingungen - Tailored Forming

Im Sonderforschungsbereich (SFB) 1153 wird die Prozesskette des Tailored Formings untersucht. Hierbei handelt es sich um einen neuartigen Prozess, der die Herstellung belastungsangepasster hybrider Massivbauteile erforscht. Die Besonderheit ist, dass die unterschiedlichen Werkstoffe bereits vor der endkonturnahen Formgebung gefügt werden. Der Fügeprozess erfolgt bei der Herstellung des Halbzeugs. Dadurch wird erreicht, dass die Fügezone der beiden Materialien eine höhere Festigkeit erzielt als bei dem Fügen im endkonturnahen Zustand, das konventionelle Verfahren entspricht [4]. Beim endkonturnahen Fügen, werden die Fügepartner separat umgeformt und anschließend gefügt. Hierdurch sind die erzielbaren Geometrien eingeschränkter als beim Tailored Forming, wo das Fügen vor dem Umformen erfolgt.

Hierzu werden spezielle Demonstrator-Bauteile untersucht, die die Materialpaarung Stahl-Aluminium, Titan-Aluminium und Stahl-Stahl abbilden. Die Fügeprozesse zur Herstellung des Demonstratorhalbzeuges beinhalten das Strangpressen, Reibschweißen und Auftragsschweißen. Welcher Fügeprozess zum Einsatz kommt, ist von der Anordnung der Materialien abhängig. Bei den genannten Fügeprozessen konnte bereits bestätigt werden, dass ein Verbund der unterschiedlichen Werkstoffe möglich ist und eine die Fügezone höhere Festigkeiten erreicht, als das Aluminium. Die so gebildete Fügezone ist somit keine Schwachstelle im hybriden Bauteil [5]. Dies ist wiederum notwendig, damit die Tailored Forming Bauteile gleiche oder bessere Lebensdauern erreichen können als Bauteile aus Monowerkstoffen. Als Vorbereitung für den Umformprozess müssen die Halbzeug erwärmt werden. Durch die Erwärmung wird das Fließverhalten des Werkstoffes eingestellt, sodass der gewünschte Umformgrad erreicht wird. Unter Fließverhalten ist die plastische Verformbarkeit zu verstehen. Aufgrund der hybriden Bauteile, muss das jeweilige Fließverhalten der beiden Fügepartner angepasst werden. Dazu müssen die Fügepartner auf unterschiedliche Temperaturen erwärmt werden. Dieses wird mithilfe induktiver Erwärmung erreicht, wodurch es möglich ist, einen Temperaturgradient im Halbzeug zu erzeugen [6]. Bei der Paarung von Stahl-Aluminium liegt die Umformtemperatur des Stahls oberhalb der Schmelztemperatur des Aluminiums. Deswegen ist es notwendig, das Aluminium während der induktiven Erwärmung zu kühlen. Kritisch zu betrachten ist hierbei die Fügezone. Trotz einer lokalen Erwärmung des Stahls und Kühlung des Aluminiums weisen die Fügepartner in der Fügezone die identische Temperatur auf. Somit ist ein exakt eingestellter Temperaturgradient erforderlich, der während der gesamten Erwärmungs- und anschließender Transportphase in das Umformwerk-

zeug aufrecht gehalten werden muss. Andernfalls kommt es zu einer ungewollten Beschädigung der Fügezone durch lokale Aufschmelzungen infolge von Konduktion. Dieser Vorgang wird anhand einer Lagerbuchse (L) und verschiedener Wellen (W1-3) untersucht, die in der Abbildung 1 zu sehen sind.

Für die Titan-Aluminium-Paarung gelten ähnlich Bedingungen, wie bei den Stahl-Aluminium-Bauteilen. Das Titan benötigt für die Umformung höhere Temperaturen als der Stahl, hat dafür aber einen schlechteren Wärmeleitkoeffizienten, wodurch ein Temperaturgradient besser einzustellen ist.



**Abbildung 1** Untersuchte Demonstratoren im Tailored Forming Prozess. Wellen W1-3, Lagerbuchse L, Querlenker Q, Ritzelwelle R, Hohlwelle H und das Kegelrad K

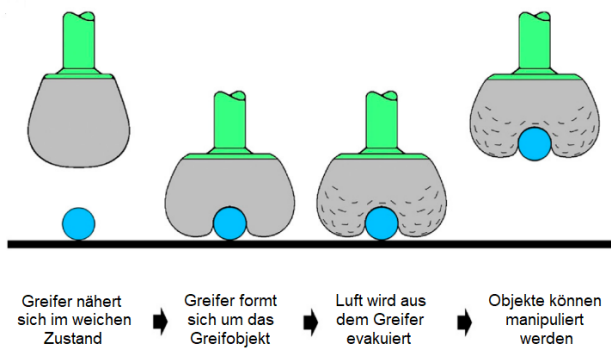
Bei der Betrachtung der Stahl-Stahl Demonstratoren spielt die Problematik des Aufschmelzens keine Rolle. Die gefügten Materialien können je nach erforderlichem Fließverhalten bis auf 1250 °C erwärmt werden. Diese Materialpaarung wird am Kegelrad (K) untersucht. Die zylindrische Halbzeuggestalt wird in eine konische, mit Zähnen versehene Geometrie geformt. Hierbei ist die Problematik der Handhabung durch die Gestaltänderung gegeben. Um das Einlegen und Entnehmen des Kegelrades aus der Umformmaschine zu automatisieren und mit nur einem Endeffektor durchzuführen, ist ein hochtemperaturbeständiges und formvariables Handhabungsmodul notwendig.

Neben den bereits genannten Demonstratoren sind noch weitere in der Abbildung 1 dargestellt. Im Tailored Forming Prozess ergeben sich folgende Anforderungen für die Handhabung der Bauteile: Zum einen wird ein Modul benötigt, welches in der Lage ist die Objekte während des Transportes zu kühlen. Das Kühlmodul ist somit eine zusätzlich integrierte Funktion im Handhabungssystem. Zum anderen ist ein Greifmodul notwendig, das den hohen Temperaturen von bis zu 1250 °C standhält und sich dabei formvariabel auf variierende Geometrien anpasst. In diesem Beitrag wird das Greifmodul thematisiert und vorgestellt.

### 2.2 Universalgreifer

Es sind zwei Arten von formvariablen Universalgreifern existent, die sich in Funktion und Gestalt unterscheiden. Die erste Gruppe, sind die sogenannten weichen Greifer.

Die Gruppe der weichen Greifer werden in den meisten Fällen aus polymeren Materialien gefertigt, wodurch sie ihre Flexibilität erhalten, wie von Shintake et al. zusammenfassend gezeigt wird [7]. Der Gruppe angehörig sind Greifer, die beispielsweise auf dem Effekt des Granular Jamming [1] oder Fin Ray Effects [8] basieren. Beim Granular Jamming wird ausgenutzt, dass sich ein Granulat unter dem Einwirken eines Vakuums verfestigt. Dazu befindet sich das Granulat in einer elastischen Membran. Im Ausgangszustand ist das Granulat in der Membran lose und verformbar, wodurch es jegliche Kontur abbilden kann. Wenn das Negativ der Kontur erstellt ist, wird die elastische Membran evakuiert und das Granulat verfestigt sich. Dabei behält das Granulat seine aktuelle Anordnung bei, woraufhin ein Formschluss hergestellt ist. Das Funktionsprinzip ist in der Abbildung 2 dargestellt. Für den Anwendungsfall des Tailored Formings ist die elastische Membran kritisch zu betrachten, da die Prozesstemperaturen von 1250 °C die Membran beschädigen würden.

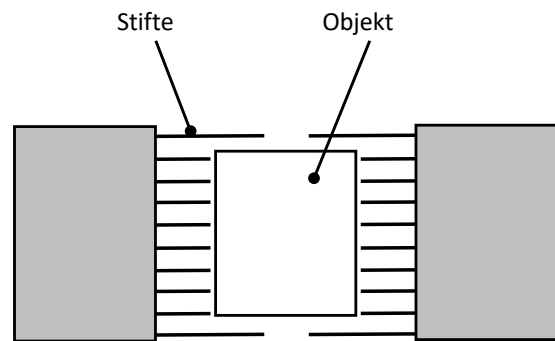


**Abbildung 2** Funktionsprinzip Granular Jamming [1]

Beim Fin Ray Effect wird eine Struktur verwendet, die sich beim Einwirken einer Kraft entgegengesetzt zu dieser verformt [2]. Das entgegengesetzte verformen beim Einwirken einer Kraft ist Fischflossen nachempfunden. Dieser Effekt wird ausgenutzt, damit ein Greiferfinger, der auf der Fin Ray Basis konstruiert ist, das zu handhabende Objekt umschlingt, wenn ein Kontakt vorliegt. Hier kommt ebenfalls ein Polymerwerkstoff zum Einsatz, da diese sich kontinuierlich Verformen können.

Die zweite Gruppe von formvariablen Universalgreifern sind die sogenannten Pingreifer. Diese besitzen in einer Matrix angeordneten Stifte, die axial verschoben werden können. Dadurch kann eine beliebige Kontur an diskreten Punkten abgebildet werden. Das so entstandene Negativ der jeweiligen Kontur wird gesperrt, wodurch ein Formschluss vorliegt, der zum Handhaben genutzt wird, siehe Abbildung 3. Hierbei ist der Vorteil, dass die Stifte aus metallischen Werkstoff gefertigt sind. Die Einsatztemperaturen des metallischen Werkstoffes ist höhere als die des Polymerwerkstoffes.

Zu dieser Art von Greifern gehören unter anderem der Omnigripper [9] und der Matrix-Greifer [10]. Bei der Auslegung dieser beiden Greifer war kein Einsatz unter Hochtemperaturbedingungen vorgesehen. Somit ist eine



**Abbildung 3** Funktionsprinzip Pingreifer: Die Stifte bzw. Pins formen die Kontur eines beliebigen Objektes ab. Dadurch entsteht ein formschlüssiger Griff.

Verwendung im Tailored Forming Prozess nicht ohne weitere Untersuchungen möglich.

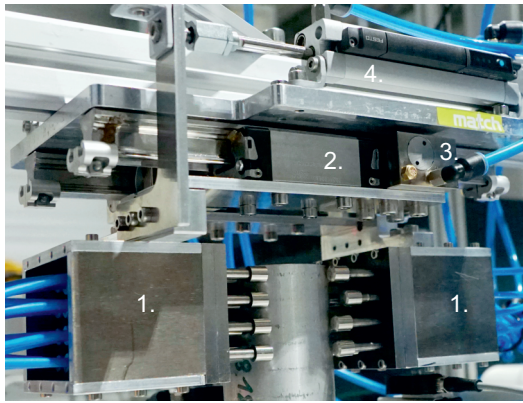
Abschließend kann gesagt werden, dass das Tailored Forming folgende Anforderungen an das Greifsystem stellt: Zunächst muss ein Kühlsystem für die heißen Objekte im Greifsystem vorhanden sein. Dieses wird in diesem Beitrag nicht weiter betrachtet. Des Weiteren ist eine Flexibilität in der Formvariabilität notwendig. Gleichzeitig muss das Greifsystem Temperaturen von bis zu 1250 °C standhalten. Die formvariablen elastischen Greifer, die auf dem Granular Jamming oder dem Fin Ray Effekt basieren, sind aufgrund ihres Materials nicht für den Einsatz unter den genannten Temperaturen geeignet. Der Pingreifer hingegen besteht aus einem metallischen Werkstoff und wäre theoretisch hierfür geeignet. Die zuvor genannten Pingreifer sind jedoch nicht für den Einsatz unter den hohen Temperaturen ausgelegt. Dennoch ist beim Pingreifer das Potential vorhanden, um unter den genannten Bedingungen eingesetzt zu werden.

## 3 Pingreifer

Nachdem die Recherche ergeben hat, dass es Möglichkeiten gibt, formvariable Greifer aus metallischen Werkstoffen zu fertigen, wird das Konzept des Pingreifers näher untersucht und auf die Randbedingungen des Tailored Forming Prozesses optimiert. Hierzu werden die folgenden zwei Module gebildet und genauer betrachtet: Zunächst wird ein Greifer benötigt, der die Backen, indem die Pins angeordnet sind, zueinander positionieren kann. Das ermöglicht eine höhere Variabilität in der Handhabung unterschiedlich dimensionierter Objekte. Des Weiteren werden die Backen selbst näher betrachtet. In der Abbildung 4 ist der entwickelte Greifer dargestellt, der im Folgenden genauer vorgestellt wird.

### 3.1 Greifer

Aufgrund der unterschiedlichen Dimensionen und Geometrien der Demonstratoren im SFB 1153 und des Anspruchs des universellen Greifens ist eine Vorrichtung notwendig,



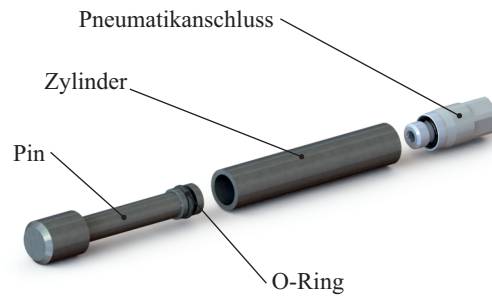
**Abbildung 4** Greifsystem mit zylindrischem Bauteil im Griff. 1. Pinbacken, 2. Linearführungssystem mit Schlitten, 3. Pneumatische Bremse, 4. Zylinder zur Backenpositionierung mit Sensor

welche die Backen zueinander ausrichtet. Hierbei ist ein Parallelmechanismus gewählt worden, da dieser die Pins und die Backen axial zueinander verschieben kann, ohne deren Ausrichtung zu beeinflussen. Unter den Randbedingungen des Tailored Formings war es nicht möglich, vorhandene Parallelgreifer zu verwenden. Die hohen Temperaturen, die während des Prozesses auftreten und auf das Greifsystem wirken, liegen außerhalb der maximal möglichen Einsatztemperaturen der Parallelgreifer. Hinzu kommt die mögliche Kombination mit der Kühleinheit für die heißen Objekte, wodurch Wasser und Wasserdampf mit in Betracht gezogen werden müssen. Aus diesen Gründen konnte kein System gefunden werden, das für die Einsatzbedingungen geeignet ist. Folglich haben wir unser eigenes paralleles Greifsystem entworfen.

Unser System aktuiert die Pinbacken pneumatisch jeweils mithilfe von einem doppeltwirkenden Zylinder. Somit kann jede Backe einzeln positioniert werden. Durch die Zylinder wird ein Schlitten angetrieben, auf dem die Backen befestigt sind. Der Schlitten ist dabei auf einem Linearführungssystem angebracht. Durch ein später vorgestelltes Regelssystem ist das System in der Lage, die Backen an definierte Positionen zu fahren und dort durch ein Bremssystem zu fixieren. Das Bremssystem ermöglicht es, die Position der Backen individuell an das zu handhabende Objekt anzupassen, wodurch auch exzentrische bzw. asymmetrische Greifpositionen der Backen möglich sind. Die Zylinder sind im Greifsystem durch die Grundträgerplatte von den Backen und der möglichen Kühleinheit separiert, um diese vor der Wärmestrahlung der heißen Objekte und dem Wasserspray zu schützen. Somit kann gewährleistet werden, dass der Einfluss der Umgebungsbedingungen minimiert ist.

### 3.2 Pinbacken

In den Backen sind die Pins in einer 4x5 großen Matrix angeordnet. Dabei besteht jede Pineinheit aus einem Pin mit einem Kopf und einem Zylinder, siehe Abbildung 5. Der Kopf ist per Gewinde mit dem Pin verbunden auswechselbar. Der Pin ist im Zylinder gelagert und wird pneumatisch aktuiert. Platzbedingt ist der Pin einwirkend



**Abbildung 5** Konstruktive Gestaltung der Pins als Zylinder-Kolben-Kombination

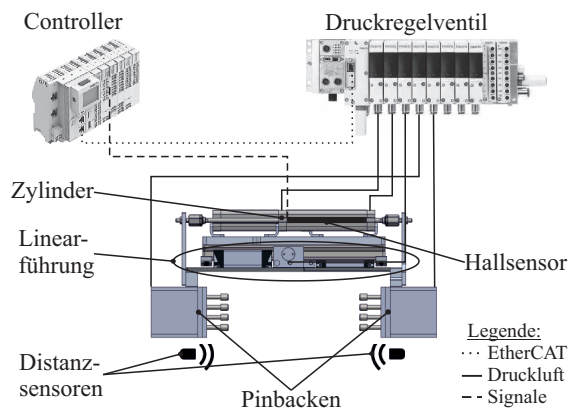
gestaltet. Der Pin stellt den Kontakt zum heißen Objekt her, weswegen hier eine hohe thermische Belastung vorliegt. Eine thermische Simulation wurde durchgeführt, um den Temperatureinfluss zu berücksichtigen und ein geeignetes Material auszuwählen. Ebenso wurde die Wärmeausdehnung betrachtet, sodass bei der maximalen Temperatur kein Verkleben der Pin-Zylinder-Paarung resultiert. Hierzu wurden geeignete Passungen gewählt, die genügend Spiel zulassen. Damit trotz der Spielpassung keine Leckage entsteht, ist am Pin ein O-Ring vorgesehen. Der O-Ring ist temperaturtechnisch limitiert, da dieser ebenfalls aus einem Polymerwerkstoff besteht. Die simulative Untersuchung ergaben, dass der Grenzwert der O-Ringe nicht überschritten wird. Für die Fertigung des Funktionsmusters wurde ein hochtemperaturfester Edelstahl gewählt, der zusätzlich einen geringen Wärmeleitkoeffizienten aufweist, um die Wärmeleitung in die Region des O-Rings und ist restliche System zu minimieren. Anhand des Funktionsmusters müssen die getätigten thermischen Simulationen validiert werden

## 4 Regelung

Nachdem nun der mechanische Teil des Greifers vorgestellt wurde, folgt die Regelung, die ein automatisiertes und präzises Handhaben ermöglicht. Aufgrund der Tatsache, dass die Pins pneumatisch aktuiert werden, ist eine Regelung notwendig. Die Regelung soll dabei die Kraft, die Schaltzeitpunkte und die Genauigkeit des Greifers regulieren und optimieren. Folgende Problemstellung ergeben sich bei der Betrachtung der von uns gewählten Konstruktion. Die Temperaturen von bis zu 1250 °C führen zu einer signifikanten Erwärmung des Greifers, wodurch die Luft in den Zylindern des Linearsystems und in den Zylindern der Pins aufgeheizt wird. Hierdurch resultiert eine Ausdehnung der Luft, die wiederum die vorherrschenden Druckverhältnisse verändert. In diesem Fall muss das Regelsystem eingreifen und die Druckverhältnisse dementsprechend adaptieren, damit ein definierter und konstanter Druck aufrechterhalten wird.

## 4.1 Komponenten der Regelung

Zur Umsetzung der Regelung ist wie in der Abbildung 6 aufgebaut. Es wird ein Controller bzw. eine SPS eingesetzt, die die Sensordaten verarbeitet und dementsprechend an ein Druckregelventil weiterleitet. Bei dem Druckregelventil handelt es sich um das Motion Terminal von Festo, das durch spezielle Elektronik unterschiedliche Funktionen abbilden kann. Im Motion Terminal kommen Ventile zum Einsatz, das aus einer Vollbrückenschaltung von vier 2/2-Wegeventilen ausgebat ist, wobei jedes Wegeventil proportional geregelt und gesteuert werden kann. Dadurch kann ein Ventil beispielsweise einen doppelwirkenden Zylinder öffnen, schließen oder auch eine beliebige Position anfahren. In den Ventilen ist ebenfalls Sensorik integriert, die eine Druckregelung ermöglichen. Das Motion Terminal soll in dem von uns konzipierten System die Backen positionieren. Die Zylinder des Linearführungssystems sind dafür mit Hallensensoren ausgestattet, die die Position der Zylinder und damit der Backen messen und die Daten an die SPS übertragen. Bei einer Abweichung der Ist- von der Soll-Position steuert die SPS das Motion Terminal an, eine Korrektur der Position, anhand der Soll-Druckwerte vorzunehmen.



**Abbildung 6** Schematische Darstellung der Umsetzung der Regelung. Die Verschaltung von Controller (SPS), Druckregelventil (Motion Terminal) und zusätzlicher Sensorik erlaubt die Regelung und Steuerung des gesamten Systems.

## 4.2 Programmierung der Regelung

Das Motion Terminal wird mit Programmen betrieben, die einzelne Funktionen oder Ventilfunktionen ermöglichen. Die einzelnen Programme müssen zuvor auf das jeweilige Ventil geladen und mit Kennwerten für die Funktionen beschrieben werden. Das kann unter anderem der Soll-Druck oder die Drosselung des Ventils sein. Der Soll-Wert wird vom Motion Terminal fortwährend selbst reguliert, wohingegen die SPS die Messwerte der externer Sensorik ausliest. Sobald diese Messwerte von den Soll-Werten abweichen, ist die SPS in der Lage die Programme des Motion Terminals mit neuen Soll-Werten zu korrigieren. Ein Beispiel wäre, wenn die an den Pinbacken montierten Di-

stanzsensoren eine Abweichung der Soll-Position des zu handhabenden Objektes detektieren. Mit dieser Information kann die SPS die Druckverhältnisse in den Pinbacken anpassen, indem die Sollwerte im Motion Terminal angepasst werden. Des Weiteren ist der Ablauf des Greifens in der SPS programmiert. Zur Umsetzung des Greifens sind verschiedene Abläufe möglich, die im nächsten Abschnitt erläutert werden.

## 4.3 Greifablauf

Der Ablauf des Greifvorgangs gliedert sich in drei Phasen:

**1. Ausgangslage:** Hier werden die Backen auf die jeweilige Ausgangsposition gefahren, die dem maximalen Abstand der Backen entspricht. Parallel werden die Pins kurzzeitig mit Druck beaufschlagt, damit diese vollständig ausgefahren sind. Somit ist eine zuvor eingestellte Geometrie revidiert.

**2. Schließen des Greifers:** Hier werden die Backen geschlossen, indem die Zylinder mit Druck beaufschlagt werden. Währenddessen liegt an den Pins kein Druck an. Andernfalls können die Pins, die in Kontakt mit dem Objekt kommen, nicht einfahren. Dabei wird über die Abluftdrosselung der Zylinder die Geschwindigkeit des Schließvorgangs bestimmt. Des Weiteren wird über die Hall-Sensoren die Position der Backen bestimmt. Durch variable Anpassungen der Abluftdrosselung werden Asynchronitäten ausgeglichen. Andernfalls würde ein ungleichmäßiges Schließen dazu führen, dass eine Backe vor der anderen am Objekt ist, wodurch das Objekt aus der Ausgangslage verschoben werden könnte. Wenn die Backen ihre Endposition erreicht haben, werden diese mithilfe der pneumatischen Bremse fixiert und die Pins wieder mit Druck beaufschlagt. Durch das aktivieren der Bremse wird die Steifigkeit des Systems erhöht. Ohne die Bremse würde der Zylinder der Linearführung die Backen in Position halten, wobei die Druckluft im Zylinder als Bremse fungieren würde. Da Luft kompressibel ist, kann eine gewisse Nachgiebigkeit nicht ausgeschlossen werden. Ebenfalls ist die Befestigung der Backe an der Linearführung von der Steifigkeit besser zu beurteilen als die Verbindung zwischen Backe und Zylinder. Beim Abschluss des Schließvorgangs liegt somit neben dem Formschluss ein zusätzlicher Kraftschluss vor.

**3. Öffnen:** Hierbei ist es von Bedeutung, das Objekt präzise wieder abzulegen. Dazu werden zunächst die Pins entlüftet, während parallel die Backen ausgefahren werden. Die Bremse wird erst gelöst, wenn die Zylinder der Backen Druck aufgebaut haben. Das zwischenzeitliche Entlüften der Pins ist notwendig, da andernfalls die vorhandene Druckluft die Pose des Objektes beim Öffnen beeinflussen würde.

Der Schließvorgang hat einen erheblichen Einfluss auf die Präzision des Greifvorgangs und muss weiter untersucht werden. Da allerdings noch einige konstruktive Optimierungen am Greifer und am Ablaufprogramm ausgeführt werden müssen, ist es noch nicht möglich, hier aussagekräftige Experimente durchzuführen.

## 5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde zunächst auf den Vorteil formvariabler Universalgreifer eingegangen, dass diese sich an wechselnde Geometrien anpassen können. Neben den Vorteilen wurden aber auch die Nachteile aufgezeigt, die sich vor allem auf die eingesetzten Materialien beziehen. Hierbei handelt es sich vorwiegend um elastische Polymerwerkstoffe, die eine maximale Einsatztemperatur von 300 °C aufweisen. Unter Für viele Anwendungsgebiete ist dieses Temperaturspektrum ausreichend. Im Rahmen des Tailored Forming soll der Einsatz von formvariablen Greifern zur Handhabung schmiedewarmer Bauteile untersucht werden, die Temperaturen von bis zu 1250 °C erreichen. Unter diesem Gesichtspunkt wurden verschiedene Typen von formvariablen Greifern näher betrachtet. Dabei hat die Gruppe von Pingreifern das meiste Potential aufgezeigt, um die Diskrepanz zwischen Formvariabilität und Temperaturbeständigkeit zu schließen.

Auf dieser Basis wurde ein Konzept entwickelt und vorgestellt. Neben dem konstruktiven Teil ist ebenfalls auf den regelungstechnischen Aspekt eingegangen wurden. Dieser ist notwendig, um eine maximale Präzision bei der Handhabung zu erreichen. Hierzu wurde die notwendige Hardware aufgezeigt und in ihrer Funktion erläutert. Eingesetzt wird ein smartes Ventilsystem, welches mit einer SPS und verschiedenen Sensoren verschaltet ist. Die verbauten Komponenten erlauben es, einen genauen Ablauf des Greifvorgangs durchzuführen und Temperatureinflüsse zu kompensieren.

## 6 Ausblick

Nachdem nun das Konzept entwickelt und umgesetzt wurde, sind Versuche notwendig, um die Einsatzfähigkeit unter den geforderten Bedingungen zu validieren. Zunächst muss das Regelsystem programmiert und integriert werden, damit die Genauigkeit beim Handhaben ermittelt werden kann. Die Positionierung auf der Induktionsspule zum Einleiten des Temperaturgradienten stellt eine Herausforderung für die Genauigkeit dar. Sollte zwischen dem Demonstrator und der Spule während der Ablage Kontakt entstehen, kann die Spule beschädigt werden. Deswegen muss das System ausführlich getestet und gegebenenfalls optimiert werden, um die notwendig Präzision zu erreichen. Anschließend sind Versuche notwendig, um die Temperatureinflüsse zu untersuchen. Dadurch können die getätigten thermischen Simulationen validiert werden.

## 7 Danksagung

Die in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 1153 'Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming' - 252662854 im Teilprojekt C7 erzielt. Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung dieses Projekts.

## 8 Literatur

- [1] Brown, E.; Rodenberg, N.; Amend, J. , Mozeika, A.; Steltz, E.; Zakin, M.R.; Lipson, H.; Jaeger, H.M.: *Universal robotic gripper based on the jamming of granular material*. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, 2010. Academic Press, New York, S. 18809–18814.
- [2] Crooks, W. et al.: *Fin Ray® Effect Inspired Soft Robotic Gripper* In: Frontiers in Robotics and AI, 2016
- [3] Mosadegh, B. et al.: *Pneumatic networks for soft robotics that actuate rapidly* In: Advanced Functional Materials, 24(15), 2163–2170, January 2014
- [4] Huskic, A. et al.; *Tailored Forming Technology for Three Dimensional Components: Approaches to Heating and Forming*. In: 5th International Conference on Thermomechanical Processing (2016).
- [5] Behrens, B.-A.; Bonhage, M.; Bohr, D.; Duran, D.: *Simulation Assisted Process Development for Tailored Forming*. In: Materials Science Forum, S. 101-111. DOI 10.4028/www.scientific.net/msf.949.101.
- [6] Behrens, B.-A. ; Goldstein, R. ; Chugreeva, A.: *Thermomechanical processing for creating bi-metal bearing bushings*. In: Proceedings of the Thermal Processing in Motion 2018-Conference Proceedings of the Thermal Processing in Motion, S. 15–21.
- [7] Shintake, J. et al.: *Soft Robotic Grippers*. In: Advanced Materials, Bd. 30, Nr. 29, Juli 2018, S. 1707035. <https://doi.org/10.1002/adma.201707035>.
- [8] Basson, C. I.; Bright, G.; Walker, A. J.: *Validating object conformity through geometric considerations of gripper mechanisms*. In: 24th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, IEEE, 2017.
- [9] Scott, P.B.: *The omnigripper: a form of robot universal gripper*. In: Robotica 3.3, 1985, S. 153–158.
- [10] Meinstrup, H., 2013. Patent DE 10 2012 107 957 b3. Matrix GmbH.