

# Es läuft rund – „Das Unrunddrücken“

B. Awiszus<sup>1</sup>, S. Härtel<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und  
Produktionsprozesse, - Professur Virtuelle Fertigungstechnik -,  
Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz, Deutschland

<sup>a</sup>[sebastian.haertel@mb.tu-chemnitz.de](mailto:sebastian.haertel@mb.tu-chemnitz.de)

## 1. Einleitung und Zielstellung

Das Formdrücken ist nach DIN 8584 als ein Verfahren der Blechumformung ohne gewollte Blechdickenreduzierung definiert. Durch Zugdruckumformung wird aus einem ebenen Blechzuschnitt ein nahezu beliebiger rotationssymmetrischer Hohlkörper geformt oder die Form eines rotationssymmetrischen Hohlkörpers verändert. Dabei wird die ebene Blechrunde mit Hilfe einer Pinole auf das Drückfutter gespannt, welches während des Drückprozesses in Rotation versetzt wird. Durch eine axial und radial zum Werkstück bewegte Drückrolle erfolgt das Anlegen der Blechrunde an das Drückfutter in einer oder mehreren Drückstufen (Abbildung 1).

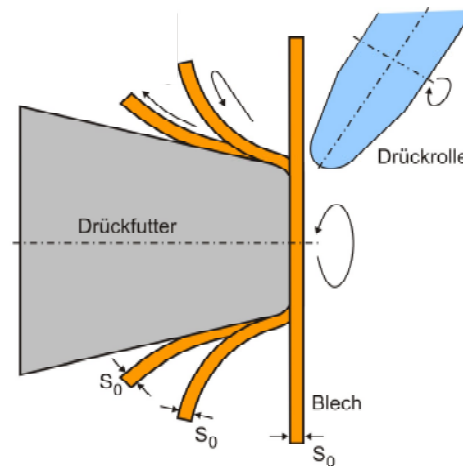


Abbildung 1: Verfahrensprinzip

Für die umformtechnische Herstellung von Produkten in kleinen bis mittleren Losgrößen stellt das Verfahren Drücken ein effizientes und wirtschaftliches Verfahren dar. Aufgrund der geringen Werkzeugkosten (durch das Vorhandensein nur eines formspeichernden Werkzeugs), der kurzen Maschinenrüstzeiten sowie des flexiblen Maschinenaufbaus bietet das Verfahren Drücken im unteren Losgrößensegment Vorteile gegenüber dem Tiefziehen [LANG90]. Des Weiteren können durch das Drücken Bauteile mit engen geometrischen Toleranzen und hohen Oberflächengüten hergestellt werden [TSCH05]. Eine Möglichkeit, die

wirtschaftliche Relevanz und die Flexibilität des Formdrückens weiter zu erhöhen, besteht darin, das herstellbare Teilespektrum um nicht rotationssymmetrische Bauteile zu erweitern. Im Rahmen des DFG-Forschungsprojektes „Drücken nicht rotationssymmetrischer Hohlteile“ soll ein Maschinen- und Steuerungskonzept entwickelt werden, um die praktische Umsetzung dieses sogenannten „Unrunddrückens“ zu ermöglichen und verfahrensspezifisch zu optimieren. In experimentellen Versuchen sollen die Prozessparameter dahingehend optimiert werden, dass unrunde Bauteile mit definierten Wanddickenverläufen reproduzierbar gefertigt werden können.

## 2. Ableitung des Funktionsprinzips

Die Herstellung nicht rotationssymmetrischer Hohlteile durch das Verfahren Drücken ist prinzipiell durch eine kraft- oder weggesteuerte Drückrollenzustellung möglich. Erste Untersuchungen von AWISZUS und ARAI zeigten, dass unter Nutzung einer kraftgesteuerten Drückrollenzustellung die Herstellung von nicht rotationssymmetrischen Hohlteilen möglich ist. Die technologische Umsetzung der kraftgesteuerten Zustellung erfolgte bei AWISZUS [AWIS05] über vorgespannte Zugfedern. Durch diese werden zwei Drückrollen von beiden Seiten gegen die Matrize gedrückt. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Aufbringung definierter Radialkräfte erfolgt durch die entsprechende Vorspannung der Zugfederpakete, welche im Verhältnis zu den auftretenden Federkraftschwankungen deutlich höher ist, so dass von nahezu konstanten Radialkräften während des Drückprozesses ausgegangen werden kann. Aus den Experimenten wurde deutlich, dass trotz der annähernd konstanten Radialkräfte der Drückrollen keine kontrollierten Wanddickenverläufe realisiert werden können.

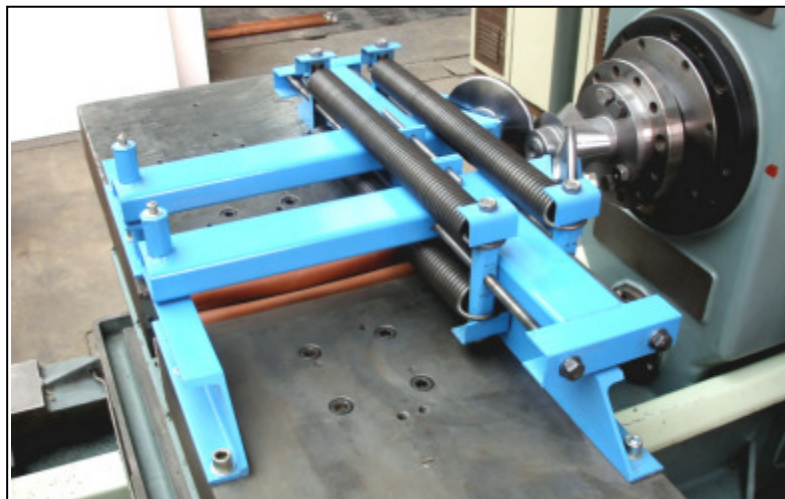
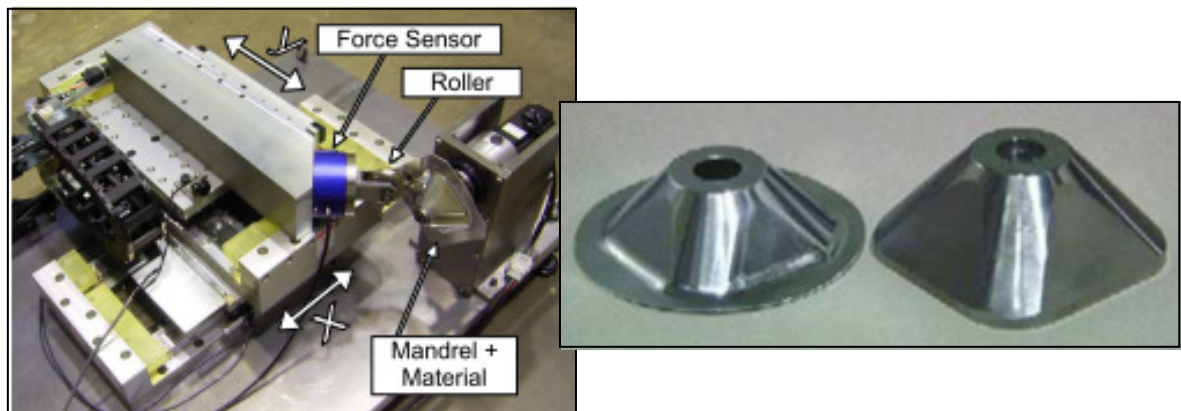


Abbildung 2: Gesamtansicht der Drückvorrichtung mit Zugfedern [AWIS05]

ARAI [ARAI06] zeigte, dass mit Hilfe von CNC – gesteuerten Achsen unrunde Bauteile auf einer Drückmaschine formbar sind. Dazu entwarf er den in Abbildung 3 dargestellten Maschinenaufbau mit Hochgeschwindigkeitslinearachsen.



**Abbildung 3: Maschinenaufbau nach ARAI und gefertigte Teile [ARAI06]**

Während des Drückprozesses wird die Drückkraft konstant gehalten und das Drückfutter selbst übernimmt die Funktion einer räumlichen Kurvenscheibe. Zur Regelung der Kraft wurde ein Kraftsensor hinter der Drückrolle angebracht.

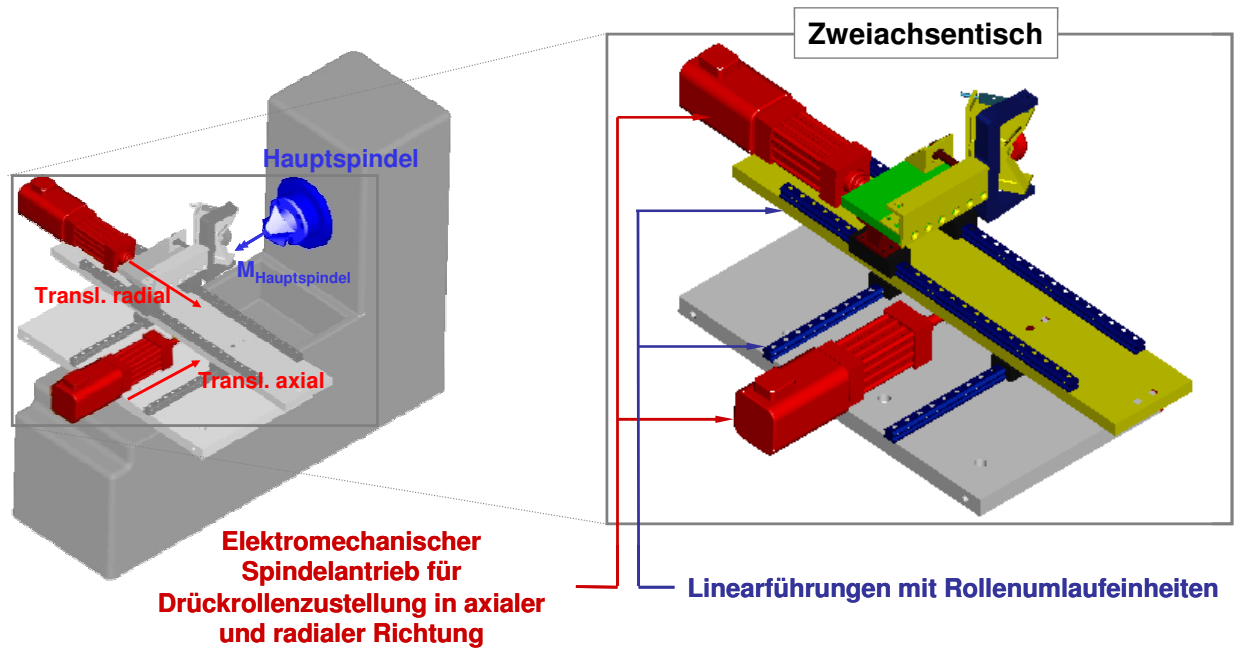
Nachteilig an der Funktionsweise der kraftgesteuerten Drückrollenzustellung ist, dass die Drückkraft a priori bestimmt werden muss. Wird diese zu klein gewählt, ist es nicht möglich das Bauteil an die Drückfutterkontur anzulegen. Eine zu hohe Umformkraft wiederum kann zu einer Blechausdünnung bis hin zum Riss führen. Ferner ist es durch eine konstant gehaltene Umformkraft kaum möglich, einen definierten Wanddickenverlauf am Bauteil zu erhalten. Vor allem bei nicht rotationssymmetrischen Hohlteilen ändern sich während des Drückvorganges die Umformverhältnisse so, dass nicht von einer konstanten Umformkraft ausgegangen werden kann [AWIS05].

Eine andere Möglichkeit zur Herstellung nicht rotationssymmetrischer Hohlteile durch Formdrücken ist die exakte Zustellung der Drückrolle in axialer und radialer Richtung. Dadurch soll gewährleistet werden, dass der Abstand zwischen Drückfutter und -rolle zu jedem Zeitpunkt des Prozesses konstant bleibt. Zur Realisierung einer solchen weggesteuerten Drückrollenzustellung wurde ein Maschinen- und Steuerungskonzept entwickelt, das im Folgenden vorgestellt wird.

### **3. Maschinen- und Steuerungskonzept**

Das Maschinenkonzept zur Herstellung nicht rotationssymmetrischer Hohlteile besteht aus zwei Komponenten (Abbildung 4 links). Zum einen ist eine Hauptspindel als Antriebskomponente für das Drückfutter und zur Bereitstellung des erforderlichen Drehmomentes notwendig und zum anderen ein Zweiachsentsch für die unabhängige radiale und axiale Zustellung der Drückrolle. Das unabhängige Zustellen der Drückrolle ist

erforderlich, um die komplexe Kinematik zur Herstellung nicht rotationssymmetrischer Hohlteile zu realisieren. Die Umsetzung der translatorischen Bewegungen erfolgt durch elektromechanische Spindelantriebe, die aus Elektrozyylinder mit Gewindespindel und Servomotor bestehen (Abbildung 4 rechts). Um ein exaktes Verfahren der Drückrolle in radialer und axialer Richtung zu gewährleisten, werden vollrollige Rollenumlaufeinheiten als Linearführungen verwendet. Die Vorteile dieses vorgespannten Führungssystems sind die hohen spezifischen Steifigkeiten und Genauigkeiten.



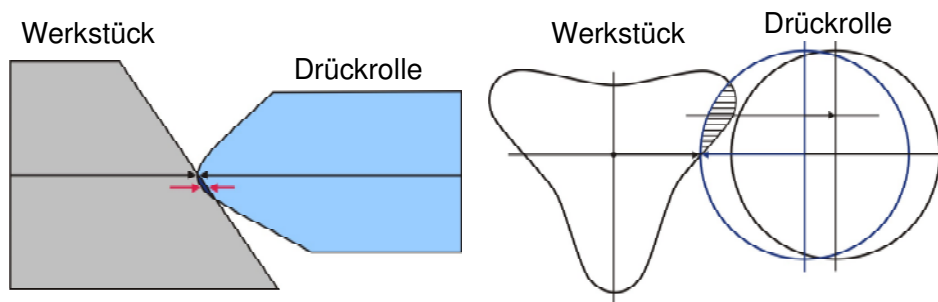
**Abbildung 4: Hauptkomponenten der Unrundrückmaschine**

Aufgrund der Drehmomentbereitstellung an der Hauptspindel durch einen Gleichstrommotor kann es vor allem im unteren Drehzahlbereich zu Drehzahlschwankungen kommen. Da beim Unrunddrücken aufgrund der hohen Prozessdynamik keine vergleichbar hohen Drehzahlen wie beim Formdrücken möglich sind, müssen diese Schwankungen durch das Steuerungskonzept kompensiert werden.

Resultierend aus dieser Anforderung wurde für das Unrunddrücken ein Steuerungskonzept entwickelt, das eine drehzahlunabhängige Drückrollenzustellung gewährleistet. Die Realisierung erfolgte über ein Master – Slave – Steuerungskonzept. Als Master dient der Drehwinkel an der Hauptspindel. Die axiale und radiale Drückrollenzustellung (Slave) erfolgt dementsprechend in Abhängigkeit des Hauptspindeldrehwinkels. Der Vorteil ist, dass die Steuerung unabhängig von Drehzahlschwankungen arbeitet (zeitunabhängige Programmierung). Der Drehwinkel an der Hauptspindel wird hierbei inkrementell mittels eines Encoders gemessen. Somit verfährt die Drückrolle in axialer und radialer Richtung zu definierten Stützpunkten. Die Drückrollenzustellung zwischen den Inkrementen erfolgt linear. Ein weiterer Vorteil des Steuerungskonzeptes ist, dass der axiale Rollenvorschub nicht

konstant sein muss. Dadurch können mit der Steuerung in Kombination mit den unabhängigen Antrieben beliebige Drückpfade generiert werden. Auch die Variation des relativen Vorschubes in einer Drückstufe ist aufgrund der zeitunabhängigen Steuerung möglich.

Das Generieren der Stützpunkte für die axiale und radiale Zustellung der Drückrolle in Abhängigkeit des Drehwinkels konnte bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht automatisiert über kommerzielle CAM-Systeme erfolgen. Denn im Gegensatz zum Unrunddrehen bezieht sich der Bearbeitungspunkt beim Unrunddrücken nicht auf einen geometrisch exakt zu bestimmenden Ort am Werkzeug (z.B. Spitze des Drehmeißels). Vielmehr kommt es zu einer Verschiebung des Kontaktpunktes zwischen Werkstück und Drückrolle in axialer und tangentialer Richtung. Ursache hierfür sind die gekrümmte Form der Drückrolle und die nicht vernachlässigbare Drückrollenausdehnung gegenüber dem Werkstück. In Abbildung 5 ist schematisch der Versatz zwischen Drückrolle und Werkstück in axialer und tangentialer Richtung dargestellt. Dieser Versatz muss durch die radiale Zustellung der Rolle korrigiert werden.



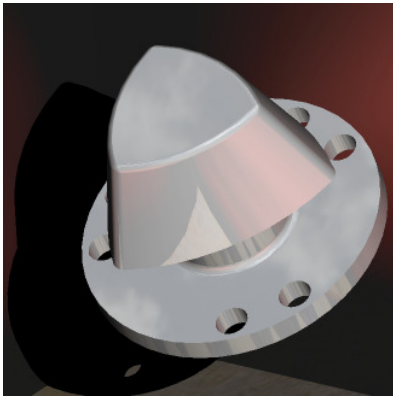
**Abbildung 5: axiale (links) und tangentielle (rechts) Überschneidung und Korrektur durch radiale Rollenzustellung**

Die axiale Verschiebung des Berührungspunktes ergibt sich aus dem Kegelwinkel der Matrize und der axialen Ausdehnung der Drückrolle. Die tangentielle Verschiebung des Berührungspunktes ist durch die Exzentrizität der Matrize bedingt. Je größer der relative Durchmesserzuwachs der Matrize in tangentialer Richtung und der Rollenradius sind, desto weiter entfernt sich der Berührungspunkt vom Ausgangspunkt.

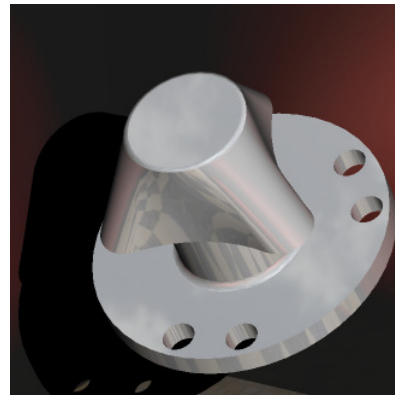
Die zu generierenden Steuerdaten sind somit abhängig von der Matrizen- und Drückrollengeometrie, dem relativen Vorschub, dem Arbeitswinkel der Drückrolle und der Ausgangsblechstärke.

#### **4. Versuchsgeometrie**

Die Funktionsweise des Maschinen- und Steuerungskonzeptes wurde im Vorfeld an einer rotationssymmetrischen Matrize überprüft. Anschließend konnten Drückversuche an nicht rotationssymmetrischen Matrizen (siehe Abbildung 6) durchgeführt werden. Ziel war es, Bauteile mit definiertem Blechstärkenverlauf herzustellen.



Matrizenform „Reuleaux“



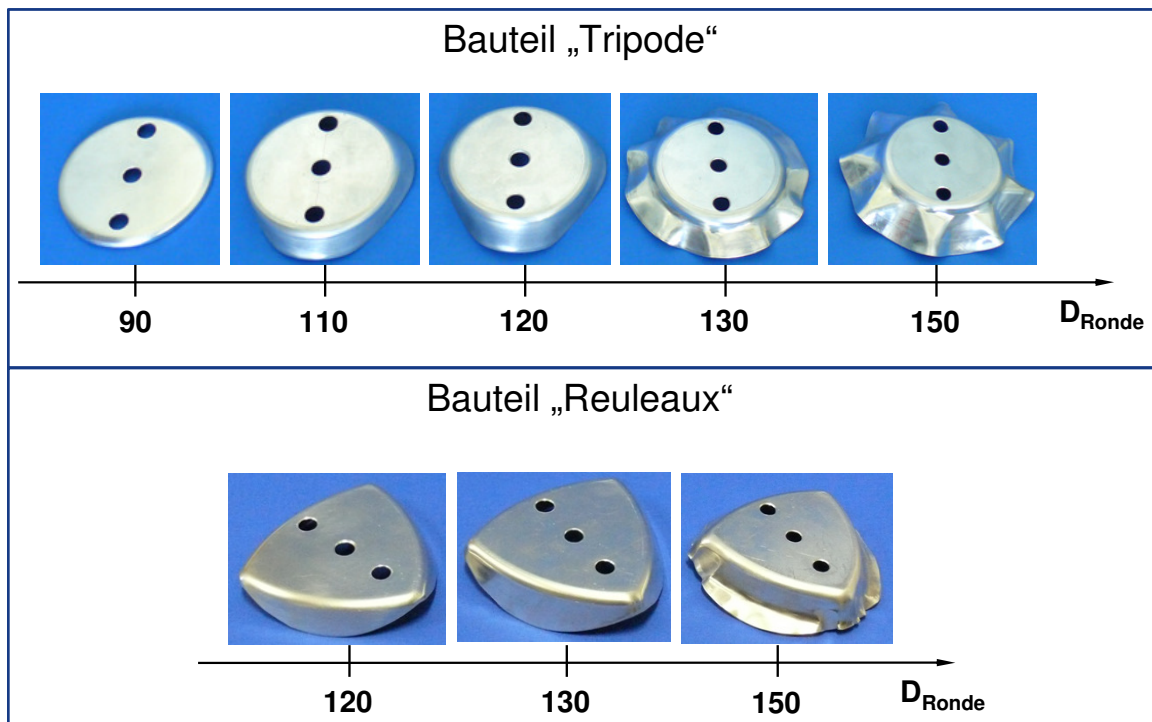
Matrizenform „Tripode“

**Abbildung 6: Matrizenformen**

Zur Optimierung des Blechstärkenverlaufs musste der Einfluss der technologischen Parameter Drückrollengeometrie, relativer Vorschub und Arbeitswinkel der Drückrolle für die zu drückende Geometrie untersucht werden. Zur Realisierung dessen wurden jeweils die entsprechenden Steuerdaten für die axiale und radiale Drückrollenzustellung unter Beachtung der o.g. Problemstellung ermittelt. Um die Steuerdaten zu bestimmen, ist es notwendig die Geometrie der verwendeten Drückrolle und die Endkontur des Bauteils (Matrize + offset) analytisch zu beschreiben, weshalb entsprechende analytisch beschreibbare Matrizengeometrien ausgewählt wurden. Anschließend wurde unter Beachtung des relativen Vorschubes und des Arbeitswinkels der Drückrolle die Berechnung der Steuerdaten durchgeführt. Zur Berechnung des axialen und tangentialen Versatzes wurde ein Algorithmus im Computeralgebrasystem MATHCAD entworfen, der die Stützpunkte der Kurvenbahnen ermittelt.

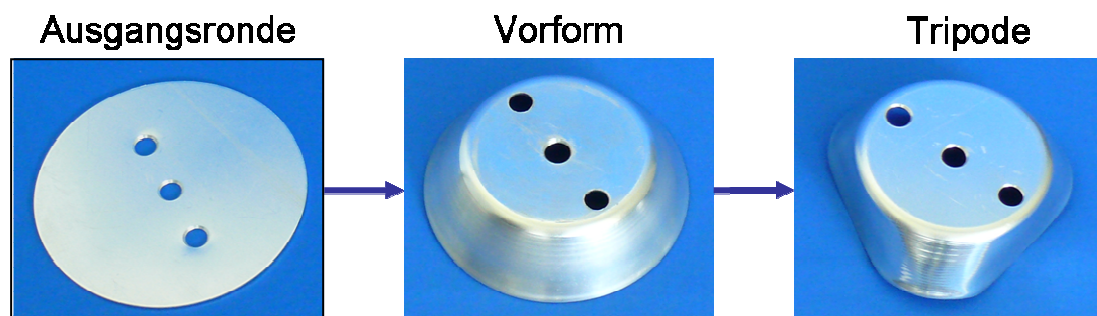
## 5. Versuche / Auswertung

Wie eingangs erwähnt, war es Ziel der experimentellen Untersuchungen, unrunde Bauteile mit definiertem Blechstärkenverlauf durch das Verfahren Formdrücken herzustellen. Das Formdrücken wird im Wesentlichen durch die Versagensfälle Faltenbildung und exzessive Materialausdünnung bis hin zum Riss begrenzt. In einem ersten Schritt wurde ein stabiles Prozessfenster ermittelt, in dem es möglich war, Bauteile ohne Faltenbildung zu drücken. Als Optimierungsparameter dienten dabei der relative Vorschub und der Arbeitswinkel der Drückrolle. Die Bauteile wurden aus kreisförmigen Ronden des Materials Al99,5 mit Durchmessern von 90 mm bis 150 mm in einer Drückstufe hergestellt. Die Ausgangsblechstärke betrug dabei 1,5 mm. Wie aus Abbildung 7 deutlich wird, war es unter Verwendung der optimierten technologischen Parameter möglich, tripodenförmige Bauteile bis zu einem maximalen Rondendurchmesser von 120 mm und reuleauxförmige Bauteile bis zu einem Durchmesser von 130 mm ohne Faltenbildung zu drücken.



**Abbildung 7: unrundgedrückte Bauteile bei unterschiedlichen Rondendurchmessern**

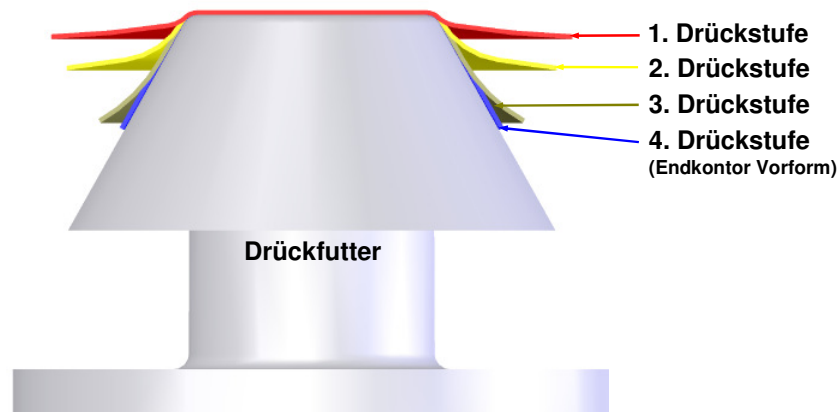
Aufbauend auf den Versuchen, nicht rotationssymmetrische Hohlteile in einer Drückstufe herzustellen, wurden tripodenförmige Bauteile aus einer geeigneten Zwischenform gedrückt. Mit Hilfe der geeigneten Vorform war es möglich, faltenfreie Teile auch aus größeren Ausgangsrondendurchmessern zu drücken (Abbildung 8).



**Abbildung 8: Fertigungsfolge bei einem Rondendurchmesser von 130 mm**

Anschließend wurden die Vorform und die Tripode im konkaven und konvexen Teilbereich auf deren Blechstärkenverlauf überprüft. Das einstufige Drücken der Vorform aus der Ausgangsronde führt zu einer maximalen Blechdickenabnahme von ca. 40%. Wird diese Vorform weiter zur Endgeometrie „Tripode“ umgeformt, nimmt die Blechdicke insgesamt um 45% in den konvexen und um 54% in den konkaven Teilbereichen ab. Dies widerspricht jedoch der ursprünglichen Forderung, unrunde Bauteile mit definiertem Blechstärkenverlauf unter Verwendung des entwickelnden Maschinen- und Steuerungskonzept herzustellen.

Ein Ansatz zur Minimierung der Blechdickenabnahme ist das Optimieren der Vorform, da bereits in dieser Vorstufe eine wesentliche Blechstärkenabnahme zu verzeichnen ist. Ursache dafür ist das Drücken der Vorform in einer Stufe. Durch ein schrittweises Anlegen des Bleches an das Drückfutter kann die Blechausdünnung reduziert werden. Die Vorform wurde in vier Drückstufen erzeugt (Abbildung 9) und anschließend wurde diese optimierte Vorform einstufig zur Finalgeometrie „Tripode“ umgeformt.



**Abbildung 9: notwendige Drückstufen zur Herstellung der Vorform**

Durch diese Vorgehensweise ist es gelungen, die Blechausdünnung der Vorform auf 22% zu reduzieren. Bei dem darauf folgenden einstufigen Unrunddrücken konnten am Bauteil Gesamtlechdickenabnahmen von 24% in den konvexen und 30% in den konkaven Teilbereichen der Tripode ermittelt werden.

Es ist durch das Optimieren der Vorform gelungen, die Blechausdünnung am nicht rotationssymmetrischen Hohlteil in etwa zu halbieren. Ungewollte lokale Blechdickenreduktionen von 20% - 30% können verfahrensspezifisch auch bei tiefgezogenen Bauteilen auftreten. Somit stellt das Verfahren Unrunddrücken eine alternative Fertigungstechnologie zum Tiefziehen, vor allem im unteren Losgrößensegment, dar.

Ähnliche Ergebnisse wurden bei dem Bauteil „Reuleaux“ erzielt. Auch hier konnte die maximale Blechausdünnung am Endbauteil durch eine optimierte Vorform um die Hälfte reduziert werden.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des DFG-Forschungsprojektes „Drücken nicht rotationssymmetrischer Hohlteile“ wurde ein Maschinen- und Steuerungskonzept entworfen, um unrunde Bauteile mit konstantem Blechdickenverlauf durch Drücken umzuformen. Anhand von ausgewählten Geometrien (Tripode und Reuleaux) konnte der Funktionsnachweis des Konzeptes erbracht werden. Nach der durchgeführten Verfahrensoptimierung lag die Blechausdünnung im Bereich von tiefgezogenen Bauteilen. Mit bisherigen Konzepten zum Unrunddrücken, welche



eine Kraftsteuerung [ARAI06] bzw. federkraftbelastete Werkzeuge [AWIS05] als Funktionsgrundlage nutzen, ist dies nicht möglich. Jedoch ist auch bei dem vorgestellten Konzept zum Unrunddrücken weiteres Optimierungspotential vorhanden. Zum einen kann ein direktes mehrstufiges Unrunddrücken, d.h. ohne Zwischenform, die Blechdickenausdünnung weiter reduzieren. Zum anderen ist es notwendig, das neuentwickelte komplexe Verfahren mit Hilfe der FEM zu optimieren. Unter Nutzung der FEM wird die Prozesstransparenz gesteigert, um das vorhandene Potential des Unrunddrückens maximal ausschöpfen zu können.

## 7. Danksagung

Das Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert. Für diese Förderung danken die Autoren.

## Quellen

- [ARAI06] Arai, H.: Force-Controlled Metal Spinning Machine Using Linear Motors. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Orlando, Florida, 15.-19. Mai 2006, p. 4031-4036
- [AWIS05] Awiszus, B.; Meyer, F.: Metal Spinning of Non-Circular Hollow Parts. Proceedings of 8th ICTP, Verona/Italy, October 9-13 2005, p. 353 ff. ISBN 88-87331-74-X
- [LANG90] Lange, K.: Umformtechnik, Handbuch für Industrie und Wissenschaft. Springer, Heidelberg, 1990, S. 500
- [TSCH05] Tschachtsch, H.: Metal Forming Practise. Springer, Heidelberg, 2005