

Effiziente Herstellung dünnwandiger metallischer Präzisionskomponenten

Struktur und Aufbau einer Hohlprägewalzanlage

M. Hartrampf, S. Heidrich, R. Kurth, M. Wagner, D. Hoffmann, S. Ihlenfeldt

ZUSAMMENFASSUNG Dünnwandige Präzisionsbauteile wie Bipolar- und Elektrolyseurplatten sind essenziell für die Transformation zu einer nachhaltigen Energienutzung und Energiespeicherung. Derzeitige Umformverfahren zur Herstellung dieser dreidimensionalen metallischen Blecherzeugnisse sind aufgrund ihrer Prozesse in Produktionsrate und Flexibilität begrenzt. Mit dem Hohlprägewalzen soll ihre Fertigung optimiert werden. Der Beitrag erläutert ein Anlagenkonzept für das Hohlprägewalzen.

STICHWÖRTER

Anlagenbau, Bipolarplatte, Hohlprägewalzen

Structure and design of a hollow embossing roll system

ABSTRACT Thin-walled precision components including bipolar and electrolyzer plates are key to the transformation towards sustainable energy usage and storage. Conventional forming technologies for these metallic components, however, are limited in production speed and flexibility. Hollow-embossing rolling can improve the manufacture of these components. Therefore, this paper proposes a novel hollow embossing rolling system approach.

1 Einleitung und Motivation

Der Trend zu immer kürzeren und anpassungsfähigeren Produktzyklen verleiht Herstellungsverfahren an Bedeutung, bei denen die Anschaffungs- und Rüstkosten von Maschinen und Werkzeugen reduziert werden können. Im Gegensatz dazu steht die klassische Pressentechnik. Sie weist zwar einen hohen Entwicklungsstand auf, stellt jedoch aufgrund der hohen Kosten für Maschinentechnik und Werkzeuge beim aktuellen Rückgang der Investitionsbereitschaft in Deutschland eine Hemmschwelle für Unternehmen dar [1]. Bei den traditionellen translatorischen Umformverfahren wird das Material diskontinuierlich zugeführt, während das Hohlprägewalzen den Vorteil bietet, dass durch die kontinuierliche Zufuhr von Bandmaterial beispielsweise auf Coils eine gleichmäßige Bearbeitung ohne Taktung möglich ist. Das zu bearbeitende Blech wird zwischen zwei Walzen hindurchgeführt, von denen eine als Matrice und die andere als Stempel fungiert, wie in **Bild 1** dargestellt [2, 3].

Auch besteht beim Hohlprägewalzen nur im Linienkontakt des Walzspaltes eine Berührung zum Umformgut. Dies bedeutet, dass die Zustellkraft der zwei Prägewalzen deutlich geringer ausfallen kann als die erforderliche Presskraft bei den translatorischen Verfahren, bei denen die gesamte Werkzeugaktivfläche Kontakt zum Umformgut hat [4]. Die reduzierten Kräfte erlauben es bei diesem inkrementellen Verfahren, kleinere Antriebe und einen kompakteren Aufbau beim Hohlprägewalzen zu realisieren. Zudem sind die Werkzeuge monolithisch, das heißt ihr Aufbau ist potenziell weniger komplex als mehrstufige Presswerkzeuge. Das Hohlprägewalzen ist somit eine hochskalierbare Fertigungsalter-

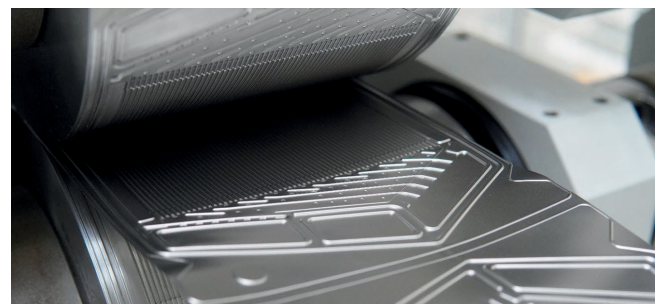


Bild 1 Hohlprägewalzen von metallischen Bipolarplatten.
Foto: Fraunhofer IWU

native. Es soll eine Produktionsrate von 120 Bipolar-Halbplatten pro Minute realisiert werden [5].

Weiterhin könnte zukünftig das inkrementelle Blechumformen mittels Umformdorn die Möglichkeit bieten, mit geringen Kräften großflächige Bauteile umzuformen. Bei diesem Verfahren (**Bild 2**) wird die Umformung des Bleches über den besagten Dorn erzeugt, wobei die Endform durch mehrere aufeinanderfolgende Bewegungen entsteht. Derzeit ist das im Forschungsstatus befindliche Verfahren jedoch, aufgrund von langen Prozesszeiten, nur für sehr geringe Stückzahlen im Prototypenbau wirtschaftlich und wird deswegen in dieser Veröffentlichung nicht weiter betrachtet [6].

Zur gesamtheitlichen Einschätzung der Technologie wurde am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU das Hohlprägewalzen der translatorischen Fertigung gegenübergestellt. In der Vorstudie [7] erfolgte anhand des Unter-



Bild 2 Inkrementelles Blechumformen mittels Umformdorn.
Foto: Fraunhofer IWU [6]

suchungsobjekts Bipolarplatte der Vergleich mit den etablierten Verfahren des Hohlprägens und der Hochdruckblechumformung, siehe **Tabelle**.

Wesentliche Erkenntnis ist das signifikante Potenzial des Hohlprägewalzens im Vergleich zu anderen Fertigungsverfahren, was vor allem mit den geringen Anschaffungs- und Rüstkosten und der erreichbaren Produktionsgeschwindigkeit begründet wird. Es kann beispielsweise bei Bipolarplatten, je nach Stückzahl, im Umformprozess eine Kostenreduktion von etwa 17 % im Vergleich zur Referenztechnologie des Hohlprägens erzielt werden [8]. Einzig bedeutender negativer Punkt ist die im Vergleich zu klassischen Umformverfahren leicht verminderte Qualität der untersuchten Bipolarplatten. Im Rahmen stationärer Anwendungen, etwa bei Elektrolyseuren, kann dieser Nachteil durch den Einsatz größerer Stacks, die eine höhere Anzahl an Platten enthalten, kompensiert werden. Dabei ist die Erhöhung der Anzahl an Elektrolyseurplatten aufgrund der im Vergleich zu anderen Verfahren geringeren Herstellungskosten unproblematisch.

Zudem konnten durch vergangene Forschung zum Verfahren, auf Basis numerischer Simulation und/oder experimenteller Ergebnisse, der Prozess des Hohlprägewalzens wesentlich weiterentwickelt werden [2, 3, 9, 10]. Ein wichtiger Fortschritt ist die Fertigbarkeit beliebig komplexer, diskontinuierlicher Geometrien, welche die anfangs rein linearen Prägegeometrien ersetzen. Somit erweitert sich auch das Anwendungspotenzial des Verfahrens.

Das derzeit beforschte Anwendungsfeld konzentriert sich vorwiegend auf metallische Bipolarplatten für Brennstoffzellen und

neuerdings auch auf Elektrolyseurplatten. Allgemein wird bei der Herstellung von Elektrolyseur- und Wärmetauscherplatten das größte Marktvolumen erwartet [11]. Vor Erstellung dieser Studie gab es bereits einen industriellen Prototypen zur Herstellung kleinflächiger Bipolar-Halbplatten in Form der Hohlprägewalzanlage „BBPflexROLL“ am Fraunhofer IWU in Chemnitz [12]. Die Marktanalyse zeigt, dass großflächigere Bauteile ein noch höheres Potenzial haben zur industriellen Herstellung mit dieser Anlagentechnik, wodurch vor allem der Low-Cost-Bereich ausgebaut werden kann.

Diese Erkenntnis motivierte die Entwicklung und Fertigung der im Beitrag beschriebenen neuen Anlage mit dem Namen „flexROLLmax“, die der Herstellung großflächiger Elektrolyseur- und Wärmetauscherplatten dient. Bevor auf das Umsetzungsbeispiel eingegangen wird, werden zunächst die allgemeinen Anforderungen und die Struktur der Anlage erläutert.

2 System zum Hohlprägewalzen von dünnwandigen Präzisionsbauteilen

2.1 Allgemeine Anforderungen des Hohlprägewalzens an die Maschinentechnik

Beim Hohlprägewalzen dünnwandiger Bauteile sind enge Toleranzen, typischerweise im Sub-Millimeter-Bereich, einzuhalten und die Reproduzierbarkeit des Prozesses sicherzustellen. Dazu muss die Berücksichtigung der durch elastische Walzenverlagerungen und lastbedingt erfolgenden Änderung des Walzspalts (siehe [9]) sowie das Monitoring relevanter Prozessparameter (wie Bandzugkraft, Walzkraft, Drehmoment, Walzenumdrehungsgeschwindigkeit) erfolgen. Entscheidend für das Endprodukt ist weiterhin die Fertigungsgüte der Profilkontur der Prägewalzen. Deshalb wird die Kontur neuer Walzenpaare mittels hochauflösender Oberflächenmesstechnik eingemessen. Infolge von anisotrop verteilten Profilabweichungen kann es zu Verkippungseffekten kommen, welche eine homogene Ausformung verhindern. Der kontinuierliche Materialfluss ist essenziell, um lokale Überstreckungen oder einen Materialstau zu verhindern. Da dünne Bleche von 0,1 mm für Bipolarplatten bis 0,5 mm für Elektrolyseurplatten (siehe [9, 10]) verarbeitet werden, sind die Werkstoffeigenschaften wie Streckgrenze, E-Modul, Korngröße und

Tabelle Recherchierte und angenommene Werte für Umformprozesse zur Herstellung von Bipolarplatten. [5, 7]

	Hochdruckblechumformung	Hohlprägen	Hohlprägewalzen
Plattenfläche (gesamt)	500 cm ²	500 cm ²	500 cm ²
Normierter Wert	1,00	1,00	1
Umformkraft	50.000 kN (Schließkraft)	8.000 kN	600 kN
	3.000 bar (Umformdruck)		
Geschätzte Maschineninvestitionskosten	3,5 Mio. €	1,3 Mio. €	1 Mio. €
Normierter Wert	0,29	0,77	1
Produktionsrate	6,7 BP-HP/min	60 BP-HP/min	12 BP-HP/min
Normierter Wert	0,06	0,50	1
Geschätzte Werkzeugkosten	250.000 €	300.000 €	150.000 €
Normierter Wert	0,32	0,27	0,53
BP-HP Qualität (Normiert)	1,00	1,00	0,9

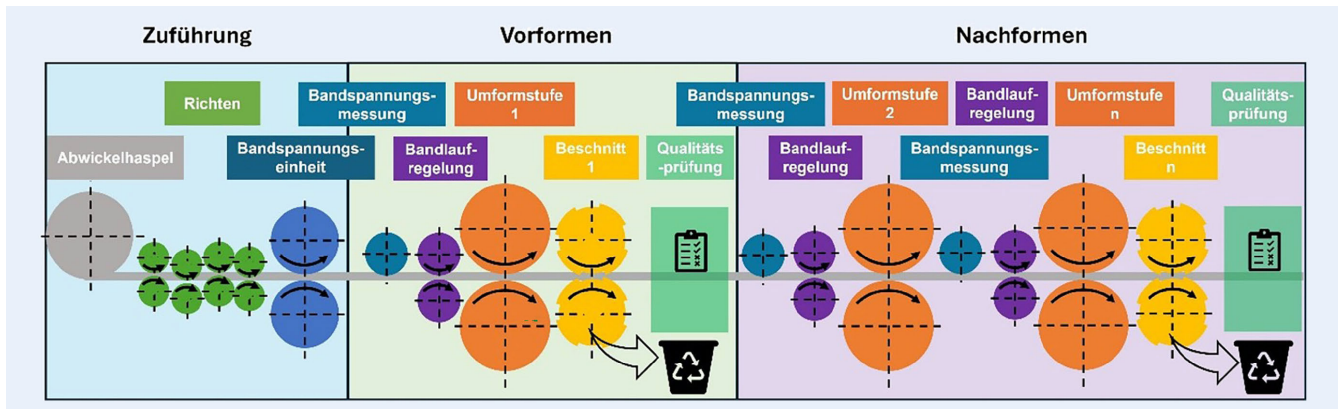


Bild 3 Exemplarischer Ablauf der Fertigung von Bipolar- und Elektrolyseurplatten. Grafik: Fraunhofer IWU [7]

Materialhomogenität von großer Bedeutung; hohe Dehnraten in schmalen Strukturen erfordern zudem enge Toleranzen bei Blechdicke und Blechqualität [9].

Parallel muss der Gleichlauf der gegenläufigen Walzen lückenlos gewährleistet sein. Abweichungen in der Synchronität führen zu Asymmetrien, erhöhtem Verschleiß und Qualitätseinbußen bis hin zu Rissbildungen [7]. Da eine zu geringe Bandspannung zur Faltenbildung führen kann, während eine zu hohe Spannung Risse im Blech hervorruft, wird auf das Band vor der Umformstufe eine definierte Zugspannung ausgeübt. Je nach Material können bis zu 100 N/mm^2 Zugspannung erforderlich sein: Bandzugkraft und -spannung müssen eng aufeinander abgestimmt werden [3]. Als weiterer Einfluss wurde das elastische Verformungsverhalten der Walzanlage untersucht [2]. Die Maschinensteifigkeit muss auf die vorherrschenden Walzkräfte und auftretenden dynamischen Lastspitzen ausgelegt sein. Ein verwindungssteifer Rahmen und hochpräzise Führungssysteme verhindern unerwünschtes Durchbiegen der Konstruktion, sodass die voreingestellten Walzspaltmaße auch bei Seriengeschwindigkeit stabil eingehalten werden können. Mit steigender Ausgangsblechdicke und zunehmender Bauteilbreite erhöht sich die erforderliche Walzkraft, wobei der linienförmige Kontakt beim Hohlprägewalzen den Vorteil bietet, dass die Zustellkraft unabhängig von der Länge des Werkstücks wirkt [7, 8]. Geometriemerkmale wie Kanalhöhen (typischerweise $0,2 - 0,3 \text{ mm}$ bei Bipolarplatten) beeinflussen zusätzlich die Herstellbarkeit und den Aufwand der Werkzeugauslegung. Folglich sind neben der Einstellung des Walzspaltes, der Synchronität der Walzen, der Bandzugkraft und dem Materialeinfluss auch Effekte aus dem Maschinenverhalten und der Geometrie zu berücksichtigen, um eine konstant hohe Qualität beim Hohlprägewalzen dünner Präzisionsbauteile zu gewährleisten.

2.2 Systemstruktur des Hohlprägewalzens

Die Fertigungsroute, die für den gesamten Materialfluss der Hohlprägewalzanlage erforderlich ist, umfasst neben dem Prägevorgang selbst auch vor- und nachgelagerte Prozesse. Diese sind in ihrer Gesamtheit am Beispiel der Fertigung von Bipolar- beziehungsweise Elektrolyseurplatten im Bild 3 dargestellt.

Das Bandmaterial wird dabei aus einer Haspel oder einem alternativen Bandzuführungssystem gefördert und kann gegebenenfalls durch eine Richteinheit geführt werden, um das zuvor meist aufgewinkelte Blech zu begradigen. Ob eine Richteinheit erforderlich ist, hängt vom verwendeten Material, der Speicherart

(wie Coil, Platine), den Blechabmessungen und der angestrebten Ebenheit nach der Umformung ab. Nach dem Richten gelangt das Band in eine Gestelleinheit, welche die Bandzugspannung zum Beispiel durch ein gebremstes Walzenpaar aufbringt. Danach wird das Band in das Walzgestell mit den Prägewalzen geführt. Diese Formgebung wird je nach Komplexität der gewünschten Kontur über eine oder mehrere Umformstufen erreicht, wobei gleichzeitig der Bandlauf geregelt werden muss.

Nach dem Hohlprägewalzen wird für den Beschnitt des hergestellten Bauteils eine Schere, Stanze oder bei aufwendigeren Geometrien eventuell auch ein Laser benötigt. Außerdem besteht die Möglichkeit, weitere nachgelagerte Prozesse – wie Fügen oder Beschichten – in die Anlagenstruktur im Anschluss an die Walzeneinheit zu integrieren. Nach Klärung der grundsätzlich möglichen Gesamtanlagenstruktur wird im nachfolgenden Abschnitt im Speziellen auf die Anlagenstruktur eingegangen, welche explizit am Prozess des Hohlprägewalzens beteiligt sind.

2.3 Grundlegende Anlagenstruktur des Hohlprägewalzens

Die Hohlprägewalzanlage, ohne vor- und nachgelagerte Prozesse, besteht aus einer Präge-Gestelleinheit, welche die Zustell- und Einstelleinheit sowie die Walzeneinheit mit Spannvorrichtung umfasst, und einer vorgelagerten Bandspannungseinheit. Der schematische Aufbau der baulichen Bereiche der Hohlprägewalzanlage ist in Bild 4 dargestellt. Nachfolgend wird die Funktionsweise der einzelnen allgemeinen Baugruppen vorgestellt.

Anhand der Anforderungen aus den vorigen Abschnitten konnten für die Gestelleinheit folgende zentrale Eigenschaften abgeleitet werden: eine anforderungsgerechte Steifigkeit, geometrische Genauigkeit sowie eine möglichst gute Zugänglichkeit zu den Walzen für den Walzenwechsel. Dafür ist ein geschlossener Rahmen zu bevorzugen, der sich durch minimale Verformungen unter statischen und dynamischen Lasten auszeichnet. Zur Verbesserung der Zugänglichkeit kann das Gestell als modifiziertes U- oder C-Gestell ausgeführt und über einen vorgespannten Bügel zu einem geschlossenen O-Gestell versteift werden. Sensorische Elemente wie Dehnungsaufnehmer an den Gestellbauteilen erlauben die kontinuierliche Überwachung von Form- und Kraftänderungen, um die Konsistenz relevanter Spaltmaße zwischen den Baugruppen sicherzustellen.

Die Bandspannungseinheit sorgt durch kontrollierte Zugkräfte im Bandmaterial für gleichmäßige Prozessbedingungen in der

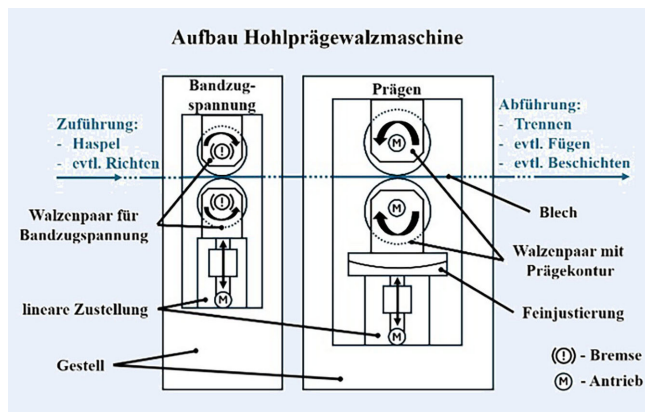


Bild 4 Schematische Darstellung des allgemeinen Aufbaus einer Hohlprägewalzanlage. Grafik: Fraunhofer IWU

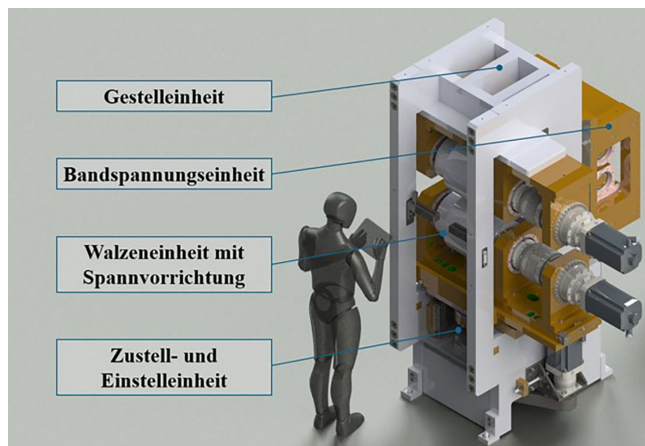


Bild 5 Hauptbaugruppen der Anlage flexROLLmax zum Hohlprägewalzen. Grafik: Fraunhofer IWU

Umformzone und ersetzt so die Funktion des Niederhalters, wie er in anderen Umformverfahren eingesetzt wird. Aufgrund der erforderlichen hohen Kräfte können handelsübliche, gebremste Haspeln zur Aufbringung der Bandzugspannung meist nicht verwendet werden. Stattdessen werden Walzenpaare eingesetzt, von denen mindestens eine Walze gebremst und die andere verfahrbar für die Zustellung dient und somit die Klemmung des Bleches ermöglicht. Zur Erzeugung der Bremskraft können pneumatische, elektromotorische oder andere Bremsprinzipien eingesetzt werden. Dabei erfolgt die Zustellbewegung je nach benötigter Kraft durch elektrische, hydraulische oder pneumatische Aktoren. Innerhalb der Bandspannungseinheit muss ein Kraftmesssystem integriert werden, um die benötigte Kraft zu überwachen und zu regulieren.

Die Walzeneinheit ist die Hauptbaugruppe, in der die Verformung des Werkstücks durch die Prägewalzen stattfindet. Dabei wird in eine obere und eine untere Einheit aufgeteilt, die von der Funktion her symmetrisch aufgebaut sind. Die Walze beziehungsweise Aufnahmewelle wird beidseitig von einem Lagerbock mit vorgespannten Lagern gehalten. Der Unterschied besteht in den Grundplatten und den Walzen, da eine Prägewalze als Stempel und die andere als Matrize definiert ist. Um den Walzenwechsel zu ermöglichen, wird die Walze entweder als Walzsegment auf der Welle, als monolithische Walze oder als gesamte Walzenkassette ausgeführt. Die Wahl des Verfahrens beeinflusst sowohl

die Wechselzeiten als auch die Kosten pro Walzensatz. Eine Walzenkassette ermöglicht den schnellsten Wechsel, verursacht aber aufgrund der integrierten Lagerung höhere Kosten. Um die Synchronität der Ober- und Unterwalze sicherzustellen, können diese mechanisch gekoppelt oder der Synchronlauf über einen Encoder je Walze geregelt werden.

Beim Hohlprägewalzen ist der Spalt zwischen den Walzen nicht dauerhaft konstant. Daher wird der Encoder der mechanischen Lösung vorgezogen. Um die Synchronität zu gewährleisten, muss der Encoder eine sehr hohe Abtastfrequenz aufweisen. Dies bedingt eine hohe notwendige Impulsfrequenz, was für die Steuerungseinheit einen hohen benötigten Steuerakt bedeutet. Die minimal benötigte Impulsfrequenz f_{\min} und der daraus resultierende mindestens erforderliche Steuertakt S_{\min} für die Walzanlage lassen sich nach **Gleichung 1** berechnen.

$$f_{\min}(\text{Hz}) = \frac{n_{\max} \left(\frac{1}{\text{min}} \right) * \pi * d_{\text{Walze}}(\text{mm})}{60} \cdot \frac{G_{\text{Werkstück}}(\text{mm})}{G_{\text{Werkstück}}(\text{mm})} \quad S_{\min}(\text{ms}) = \frac{1000}{f_{\min}(\text{Hz})}$$

Dabei wird zunächst die notwendige Auflösung des Encoders berechnet, indem der Umfang der Walze $\pi * d_{\text{Walze}}$ und die benötigte Genauigkeit am Werkstück $G_{\text{Werkstück}}$ berücksichtigt werden. Nachfolgend kann über die maximale Drehzahl der Walzen n_{\max} die minimale benötigte Impulsfrequenz und der resultierende Steuertakt für die Anlage abgeleitet werden.

Zur Anpassung des Walzspaltes und zur Feinjustierung des Walzenpaares werden Zustell- und Einstelleinheiten eingesetzt. Ein motorisch angetriebener Gewindtrieb oder ein Linearaktuator übernimmt die Grob- und Feinverstellung des Spaltes. Dabei ist zu beachten, dass das System am Ende möglichst spielfrei arbeitet und die benötigten Zustellkräfte realisiert werden können. Mit der darüberliegenden Einstelleinheit, die nahe an der Wirkstelle der Walzen liegen sollte, können die linearen und rotatorischen Freiheitsgrade der Walzen zueinander ausgeglichen werden. Diese Feinjustierung ist nötig, da trotz der hochgenauen Anlageflächen des Gestells die Toleranzkette – von der oberen Walzeneinheit über das Gestell bis zu den Anbauteilen des Führungsschlittens – die erforderliche Genauigkeit zur Positionierung des Walzenpaares nicht ausreichend gewährleistet. Eine Kraftmessdose und ein Linearmesssystem mit hoher Auflösung überwachen kontinuierlich die eingestellten Parameter.

Anhand dieser Anlagenstruktur wurde eine Maschine abgeleitet und nach VDI 2221 für die Entwicklung technischer Produkte und Systeme konstruiert [13]. Nachfolgend wird die Hohlprägewalzanlage flexROLLmax genauer vorgestellt.

2.4 Umsetzungsbeispiel einer Hohlprägewalzanlage

Die flexROLLmax-Anlage wurde auf Basis der am Fraunhofer IWU vorhandenen BBPflexROLL-Hohlprägewalzanlage weiterentwickelt. Trotz einer maximalen Prozesskraft von 600 kN und einer maximalen Bandbreite von 500 mm wurde die Maschine kompakter ausgelegt und gegenüber dem Vorgängermodell weiter optimiert. So wurde etwa die Bandspannungseinheit direkt an der Gestelleinheit integriert. Nachfolgend werden die beiden Einheiten zusammen mit der Walzeneinheit sowie der Zustell- und Einstelleinheit beschrieben und sind in **Bild 5** veranschaulicht.

In der flexROLLmax-Anlage wurde das Grundgestell als modulares C-/O-Rahmenkonzept ausgeführt: entfernbare Frontstreben ermöglichen im demontierten Zustand die Zugänglichkeit

eines C-Gestells und gewährleisten im montierten Zustand die Geschlossenheit eines O-Gestells. Tangentenkeile an der Unterseite der Frontstreben minimieren Spiel und simulieren das Verhalten eines geschlossenen Rahmenprofils. An den Frontstreben angebrachte Dehnungsaufnehmer erfassen indirekt die Spaltkonstanz zwischen den Prägewalzen, was insbesondere beim Hohlprägewalzen aufgrund der hohen Präzisionsanforderungen von entscheidender Bedeutung ist [14]. Zwei seitlich montierte, horizontale Führungssäulen tragen ein Walzenwechselsystem für die 85 bis 340 kg schweren Prägewalzen. Gabellichtschranken, die an der Innenseite des Gestells montiert sind, erfassen dabei die Position des Bandes, das aus der Bandspannungseinheit kommt.

In der direkt ans Grundgestell gekoppelten Bandspannungseinheit wird die obere Walze über eine pneumatische Scheibenbremse mit individuell einstellbarem Bremsdruck gebremst, wodurch Bandzugkräfte bis zu 24 000 N möglich sind. Die untere Walze ist auf zwei pneumohydraulischen Achsen verfahrbar, um das Werkstück sicher zu klemmen. Die modulare Bauweise ermöglicht die Verstellung der Höhe, um sowohl in Mittel- als auch Schräglage das Band in die Walzeneinheit einlaufen zu lassen.

Die Walzeneinheit nutzt je einen Motor mit Planetengetriebe pro Prägewalze, gekoppelt über eine Metallbalgkupplung. Walzsegmente werden über einen Tangentenkeil auf den Grundwalzkörper gespannt und bei Bedarf über Demontage des linken Lagergehäuses gewechselt. Encoder an den Grundwalzkörpern gewährleisten einen exakten Synchronlauf und erlauben eine kontinuierliche Bandförderung.

In der hier betrachteten Anlage erfolgt die Zustellbewegung über einen Motor mit Hochleistungs-Planetenrollengewindtrieb. Die Lagerung erfolgt über mehrere schräg angeordnete Kugellager in O-Anordnung. Um die Bauhöhe nicht weiter zu vergrößern, werden der Motor und das Getriebe über einen Zahnriemen in Gegenrichtung angebracht. Die Zustelleinheit verfügt über ein Linearmesssystem mit 10-nm-Auflösung und eine Kraftmessdose. Zwischen der Zustelleinheit, die zur Einstellung des Walzspaltes dient, und der unteren Walzeneinheit befindet sich diese Einstelleinheit. Mit dieser können zusätzlich zur linearen Zustellbewegung zwei weitere lineare Achsen und zwei translatorische Achsen der unteren Walzeneinheit eingestellt werden, damit diese genau zur ortsfesten oberen Walzeneinheit ausgerichtet sind. Somit lassen sich alle Freiheitsgrade, bis auf die Rotation um die Walzenachse, die nicht eingestellt werden muss, nachjustieren. Die Einstelleinheit ist dafür mit Messuhren ausgestattet, welche die jeweilige Einstellung des Freiheitsgrades anzeigen können. Letztlich kann man über die möglichst geringe Walzkraft beim Teaching des Blechs zwischen dem Walzenpaar ableiten, ob die Ausrichtung zueinander anforderungsgerecht ist [15].

Zusätzlich zu der vorgestellten Hohlprägewalzanlage befindet sich in der Anlage am Fraunhofer IWU in Chemnitz noch eine Abwickelhaspel innerhalb des Schutzzaunes, um Versuche zur Optimierung des Hohlprägewalzens praxisnah durchführen zu können. Diese Haspel ist nicht angetrieben, verfügt jedoch über eine pneumatische Sicherheitsscheibenbremse, um im Falle eines unerwarteten Stopps nicht weiterzulaufen. Mit flexROLLmax kann der Prozess des Hohlprägewalzens unter Industriebedingungen erforscht werden. Somit ist eine leistungsfähige Hohlprägewalzanlage entstanden, die bereits am Fraunhofer IWU in der Forschungsfabrik aufgebaut wurde und nach Abschluss der Steuerungsintegration in Betrieb genommen werden kann. **Bild 6** zeigt den aktuellen Stand der aufgebauten Anlage.



Bild 6 Anlage flexROLLmax in der Forschungsfabrik des Fraunhofer IWU in Chemnitz. Foto: Fraunhofer IWU

3 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Veröffentlichung wurde das Hohlprägewalzen zur umformtechnischen Fertigung von dünnwandigen metallischen Präzisionskomponenten vorgestellt. Die Analyse der technologischen Parameter und der Systembeschreibung zeigt, dass das Hohlprägewalzen Vorteile gegenüber etablierten Fertigungsverfahren bietet. Durch die Reduzierung der Anschaffungs- und Rüstkosten, gepaart mit Flexibilität und Effizienz, stellt dieses Verfahren eine vielversprechende Alternative zu etablierten Fertigungstechnologien für komplexe, dreidimensionale Blechbauteile dar.

Die Beschreibung der flexROLLmax-Anlage und ihrer Hauptbaugruppen (einschließlich der Gestell-, Bandspannungs-, Walzen- sowie Zustell- und Einstelleinheit) bietet detaillierte Einblicke in die Konstruktion und die technologische Innovation eines solchen Systems. Die präzise Synchronisation der Walzen und die gezielte Bandvorspannung sind dabei entscheidend für Qualität und Konsistenz der produzierten Bauteile.

Mit Blick auf zukünftige Entwicklungen besteht die Möglichkeit, die Technologie des Hohlprägewalzens weiter zu optimieren. Insbesondere die Verbesserung der Qualität der produzierten Bauteile und die Erweiterung der Anwendungsbereiche könnten durch gezielte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten umgesetzt werden. Die Ergebnisse der Marktanalyse zeigen, dass großflächigere Bauteile ein erhebliches Potenzial für die industrielle Anwendung dieser Technologie bieten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Hohlprägewalzen nicht nur eine kostengünstige und hochratenfähige Fertigungsalternative darstellt, sondern auch eine vielversprechende Perspektive für die Zukunft der Umformtechnik bietet. Fortlaufende Forschung und technologischer Fortschritt werden entscheidend sein, um die Vorteile dieses Verfahrens weiter auszuschöpfen und neue Anwendungsmöglichkeiten zu erschließen.

LITERATUR

- [1] Deutsche Industrie- und Handelskammer (Hrsg.): Wachstum? – Fehlanzeige! DIHK-Konjunkturumfrage Jahresbeginn 2025. Internet: www.dihk.de/resource/blob/128504/cd5229c878969de4dd4a2f74aa6c5efa/konjunktur-dihk-konjunkturumfrage-jahresbeginn-2025-data.pdf. Zugriff am 26.08.2025
- [2] Wagner, M.; Alaluss, M.; Kurth, R. et al.: Characterization of the Machine Behaviour During Hollow Embossing Rolling of Metallic

- Bipolar half Plates. Journal of Machine Engineering, 23 (2023) 3, pp. 167–178, doi.org/10.36897/jme/167525
- [3] Porstmann, S.; Polster, S.; Reuther, F. et al.: Zielgrößen und Spannungsfelder beim Vergleich von Herstellungsverfahren für metallische Bipolarplatten. Chemnitz: Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU 2021
- [4] Kacar, I.; Ozturk, F.: A Study on Forming Characteristics of Roll Forming Process with High Strength Steel. Proceedings of the 8th International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Metal Forming Processes (NUMISHEET 2011), pp. 1034–1039
- [5] Porstmann, S.; Wannemacher, T.; Drossel, W.-G.: A comprehensive comparison of state-of-the-art manufacturing methods for fuel cell bipolar plates including anticipated future industry trends. Journal of Manufacturing Processes 60 (2020), pp. 366–383
- [6] Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU: Fertigteile in Rekordzeit – inkrementelle Blechumformung. Stand: 2025. Internet: www.iwu.fraunhofer.de/de/forschung/leistungsangebot/produktion-jetzt/fertigteile-in-rekordzeit-inkrementelle-blechumformung.html. Zugriff am 26.08.2025
- [7] Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU: Vorstudie zur Potenzialanalyse zur Anwendung des Walzprägens für dünnwandige Präzisionsbauteile für die Umformmaschinen. SaWaP. VDW-Vorstudie: Fl.Nr.-051. Chemnitz: Fraunhofer-IWU 2025 [nicht veröffentlicht]
- [8] Dieterich, C. C. V.: Entwicklung einer Methodik zur technisch-ökonomischen Bewertung von innovativen Prozesstechnologien in der PEM-Wasserstofftechnologie. Masterarbeit, RWTH Aachen University, 2025
- [9] Reuther, F.: Simulationsbasierte Prozessauslegung des Hohlprägevorgangs zur umformtechnischen Herstellung von Bipolarhalbplatten. Doktorarbeit, Technische Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, 2025
- [10] Bauer, A.; Härtel, S.; Awiszus, B.: Manufacturing of Metallic Bipolar Plate Channels by Rolling. Journal of Manufacturing and Materials Processing 3 (2019) 2, doi.org/10.3390/jmmp3020048
- [11] Market Research Intellect: Globale bipolare Platten für den Elektrolyzer Marktüberblick – Wettbewerbslandschaft, Trends und Prognose nach Segment. Internet: www.marketresearchintellect.com/de/product/bipolar-plates-for-electrolyzer-market, Zugriff am: 27.08.2025
- [12] Weckbrodt, H.: Sächsische Walze soll Wasserstoff-Antriebe billiger machen. Oiger – Neues aus Wirtschaft und Forschung. Stand: 02.04.2024. Internet: oiger.de/2024/04/02/saechsische-walze-soll-wasserstoff-antriebe-billiger-machen/190393. Zugriff am 26.08.2025
- [13] Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI): VDI 2221 Blatt 1: Entwicklung technischer Produkte und Systeme – Modell der Produktentwicklung. Düsseldorf 2019
- [14] Tönshoff, H. K.; Denkena, B. (Hrsg.): Handbuch Umformtechnik – Grundlagen, Technologien, Maschinen. Berlin: Springer-Verlag 2006, Kapitel 5.6, S. 873–900
- [15] Kopp, R.; Lange, K. (Hrsg.): Umformtechnik – Blech. Berlin: Springer-Verlag 1993, Kapitel 37: Einfluss der Walzenabmessungen beim Kaltwalzen von dünnen Blechen und Bändern

Max Hartrampf, M.Sc. 
max.hartrampf@iwu.fraunhofer.de


Sebastian Heidrich, MPhil. 
sebastian.heidrich@iwu.fraunhofer.de

Robin Kurth, M.Sc. 
robin.kurth@iwu.fraunhofer.de

Martin Wagner, M.Eng. 
martin.wagner@iwu.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. (BA) Dirk Hoffmann
dirk.hoffmann@iwu.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Steffen Ihlenfeldt 
steffen.ihlenfeldt@iwu.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU 
 Reichenhainer Str. 88, 09126 Chemnitz
www.iwu.fraunhofer.de

LIZENZ



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