

## Design, Development and Assessment of a Flexible Pre-Forming Machine

Changes in energy policies and increasing energy costs render it necessary to seek energy efficiency potential for every area which consumes energy resources. The forging industry is characterized by high energy consumption. In the manufacture of forged parts, the largest share of primary energy is consumed during the production of the raw material. For this reason, the required

material usage has a significant effect on the overall energy and CO<sub>2</sub> balance. As part of a Research & Development project funded by BMWi, a preforming machine was designed, developed and assessed. This machine enables significant material savings during the production of forged parts.

# Konzeption, Entwicklung und Bewertung eines flexiblen Vorformautomaten

Prof. Dr.-Ing. Rainer Herbertz,  
Dipl.-Ing. Franz Fuss,  
Dipl.-Ing. Rainer Labs, Iserlohn und  
Dipl.-Ing. Sebastian Frank, Coburg

Veränderungen in der Energiepolitik und steigende Energiekosten machen es erforderlich, für jeden Bereich, der Energieressourcen verbraucht, nach Energieeffizienzpotenzialen zu suchen. Hoher Energieverbrauch kennzeichnet die Branche Massivumformung. Den größten Anteil der verbrauchten Primärenergie bei der Herstellung von Massivumformteilen erfordert die Herstellung des Rohmaterials. Deshalb hat der benötigte Materialeinsatz signifikanten Einfluss auf die Gesamtenergie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz. Im Rahmen eines vom BMBF geförderten FuE-Vorhabens wurde ein Vorformautomat konzipiert, entwickelt und bewertet, mit dem deutliche Materialeinsparungen bei der Herstellung von Massivumformteilen möglich sind.

Es hat in der Vergangenheit nicht an Bemühungen gefehlt, um den Materialeinsatz in der Massivumformung zu reduzieren. Die Entwicklungen bezogen sich auf Verfahren, Werkzeuge und Maschinen, vielfach mit engem Bezug zu den Teilegeometrien. Aus einem eigenen FuE-Vorhaben der Forschungsstelle ist bekannt, dass das hohe Materialeinsparungspotenzial gehoben werden kann, wenn Produktgeometrie, Umformverfahren und Werkzeugtechnologie so kombiniert werden, dass in der ersten Vorformstufe eine produktspezifische Massenverteilung

bei hohem Materialwirkungsgrad (MWG) erreicht wird. Die industrielle Umsetzung dieses Ansatzes ist bisher aber kaum realisierbar, weil die begrenzte Flexibilität der etablierten Verfahren und Werkzeugtechnologien, die teilweise niedrigen Taktzeiten, die hohen Investitionen und die Auslastung der Anlagen keine wirtschaftliche Fertigung insbesondere bei Firmen mit heterogener Artikelstruktur zulassen.

Im Rahmen des Vorhabens wurde das Ziel verfolgt, einen Vorformautomaten für die

Massivumformung zu konzipieren und bezüglich seiner Grundfunktionen zu entwickeln, um hiermit für verschiedenste Bauteilklassen Vorformen bei hoher Materialeffizienz zu erzeugen.

Die Zielparameter der Entwicklung waren

- ein hoher erreichbarer Materialwirkungsgrad bei der Vorformung mit dem Ziel: Halbierung des derzeit üblichen Gratanteils von 10 bis 40 Prozent bezogen auf die Einsatzmasse,
- eine hohe Flexibilität bezüglich der herstellbaren Vorformprodukte und der Auf-

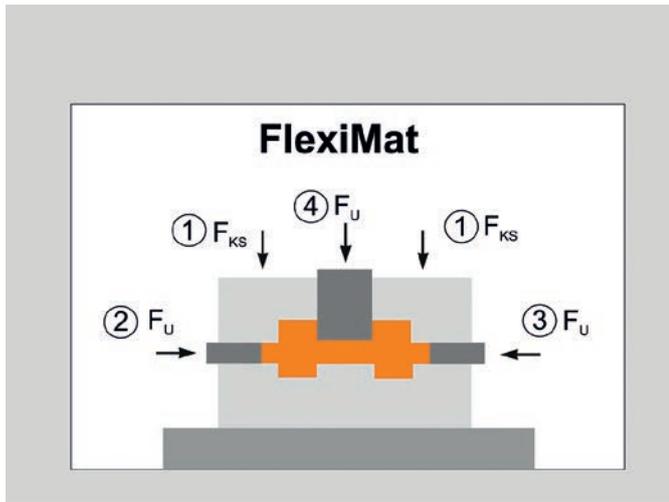


Bild 1: FlexiMat Basiskonzept.

stellung des Automaten im Produktionsumfeld mit dem Ziel: Der Vorformautomat soll die Funktion mehrerer Spezialmaschinen substituieren,

- eine produktionskonforme Taktzeit mit dem Ziel: Der Vorformautomat muss sich in die Taktzeitvorgabe der Produktionslinie integrieren,

unter besonderer Berücksichtigung

- der umformtechnischen Grenzen aus Sicht des Materials,
- der Werkzeugkosten und -funktionen,
- der maschinenbaulich umsetzbaren Funktionen und
- der Investitionskosten und der Wirtschaftlichkeit.

Ausgangspunkt und Grundidee war eine Vorformmaschine mit je einer vertikalen Schließ-

und Umformachse sowie mehreren horizontalen Stauchachsen (Bild 1).

Die Arbeitshypothese lautete, dass mit einer solchen Umformmaschine, ausgehend vom erwärmten Rundmaterial, in ein oder mehreren Stufen, nahezu beliebige Vorformgeometrien gratlos und in einer linienkonformen Taktzeit wirtschaftlich herstellbar sind und damit Massivumformteile mit hoher Materialeffizienz hergestellt werden können.

Ein 98 Massivumformbauteile umfassendes repräsentatives Teilespektrum wurde herangezogen, um die einzelnen Entwicklungsschritte so realitätsnah wie möglich zu bearbeiten.

#### Herstellbare Formen

Für die Flexibilität und die Einsatzgrenzen des FlexiMats ist ganz wesentlich, welche

Formen sich damit prinzipiell herstellen lassen. Die Untersuchungen hierzu führten zu den in Bild 2 dargestellten Grundformen.

Durch die Kombination dieser Grundformen können über mehrere Umformstufen weitaus komplexere Geometrien erzeugt werden: Die geometrische Vielfalt der Vorformen wird dadurch beträchtlich erweitert (Bild 3).

Der Vergleich der Materialverteilung der repräsentativen Bauteile mit denen durch den FlexiMaten erzeugbaren Geometrien zeigt, dass für 95 Prozent des repräsentativen Teilespektrums drei Umformachsen sowie drei Umformstufen ausreichen.

#### Verfahrensgrenzen und Arbeitskennfelder

Die FlexiMat-Verfahrensgrenzen umfassen im Wesentlichen geometrische, umformtech-

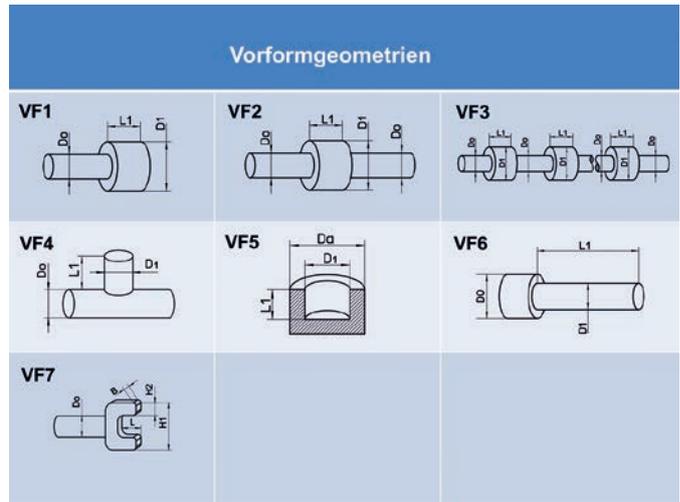


Bild 2: Mit FlexiMat erzeugbare Grundformen.

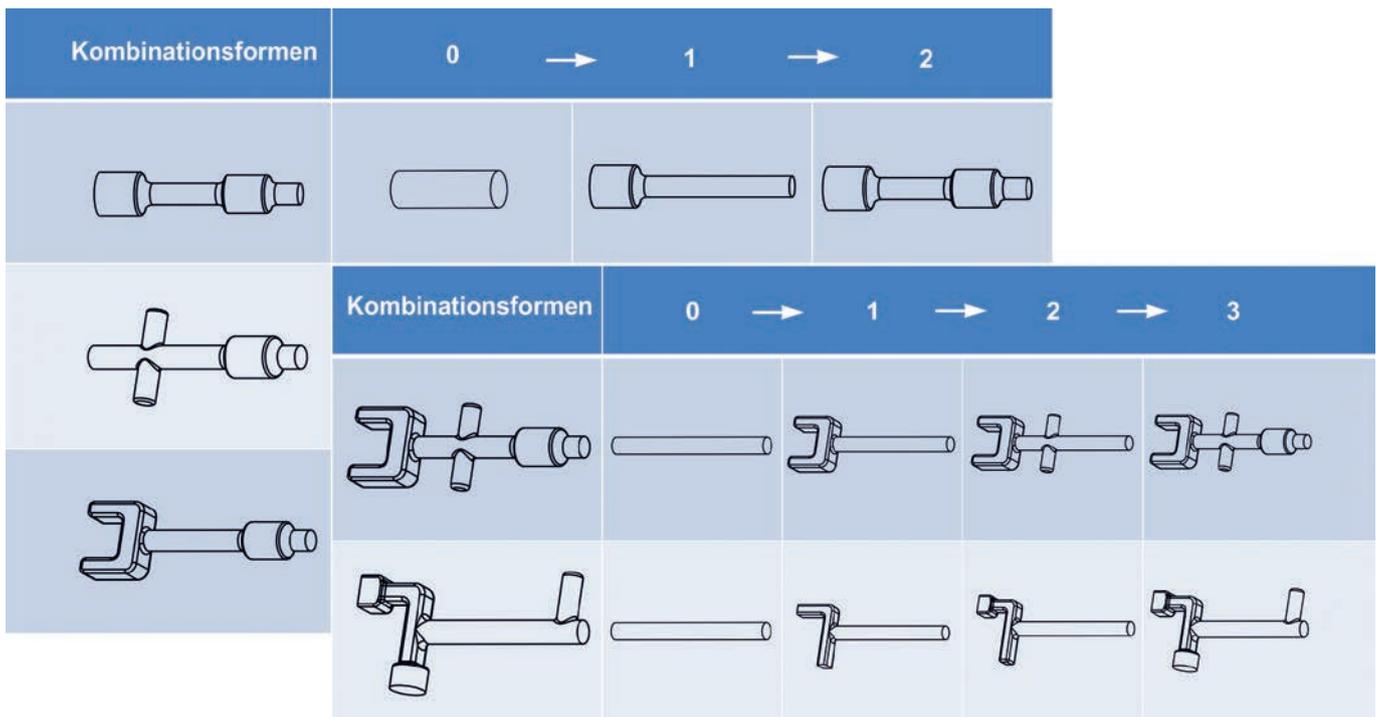


Bild 3: Mit Fleximat erzeugbare Kombinationsformen.

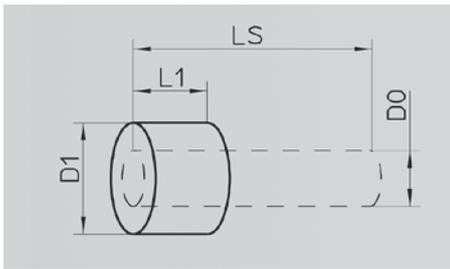


Bild 4: Nutzbare Stauchlänge.

nische, thermische und maschinentechnische Grenzen:

Die geometrischen Grenzen betreffen die freie Knicklänge beim Stauchen, für die gilt:  $L1/D0 < 2,5$ . Diese Grenze sollte aus Stabilitätsgründen nicht überschritten werden. Unabhängig von dieser geometrischen Stabilitätsgrenze gibt es eine umformtechnische Grenze, die das Verhältnis von nutzbarer gestauchter Länge zum Ausgangsdurchmesser ( $LS/D0$ ) und somit die erreichbare Massenanhäufung beim Stauchen beschreibt (Bild 4). Dieses Verhältnis wird durch die Qualität der Stauchgeometrie und des Faserverlaufs sowie durch den Verfahrensweg und den Einbauräum der Umformmaschine begrenzt.

Eine thermische Grenze resultiert daraus, dass das Bauteil nach erfolgter Massenvorverteilung eine untere Temperaturgrenze nicht unterschreiten darf. Der Temperaturabfall wird im Wesentlichen durch die kumulierte Druckberührzeit, die Anzahl Umformstufen und die Taktzeit bestimmt. Weitere Grenzen ergeben sich verfahrensbedingt für das Verhältnis erforderliche Stablänge zu Anzahl der Massenanhäufungen und erreichbare Geometrie  $L1/D1$  der Massenanhäufungen.

Unter Beachtung der beschriebenen Verfahrensgrenzen wurden durch analytisch beschreibbare Zusammenhänge und mit Hilfe von Simulationsrechnungen Arbeitskennfelder erstellt. Anhand der Arbeitskennfelder kann

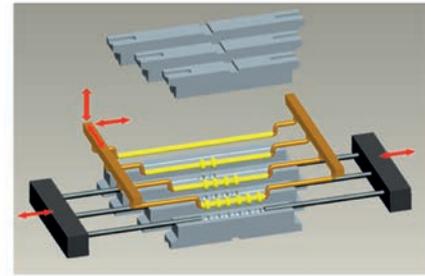
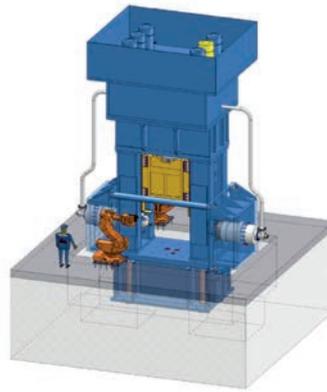


Bild 5: FlexiMat Maschinenlayout.

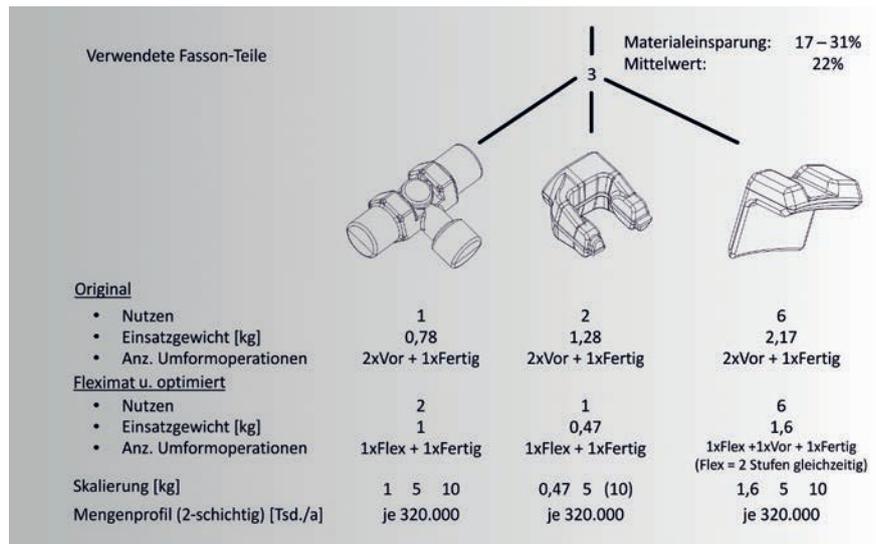


Bild 6: Szenario für die wirtschaftliche Gesamtbewertung.

für eine vorgegebene Massenverteilung geprüft werden, ob und unter welchen Bedingungen die Herstellung mit dem FlexiMat-Konzept möglich und sinnvoll ist.

### Maschinenkonzept

In Zusammenarbeit mit einem Maschinenhersteller als Kooperationspartner wurde basierend auf den technologischen Untersuchungsergebnissen ein Maschinenkonzept erarbeitet,

welches aus einer konventionellen servohydraulischen Presse mit zusätzlichen horizontalen hydraulischen Stauchzylindern besteht. Es sind drei Umformstufen vorgesehen, der Teiltransport erfolgt durch eine im Rahmen des Projekts konzipierte Transporteinrichtung, die sowohl eine Einzelbelegung (Umformung nur in einer Stufe) als auch eine Mehrfachbelegung (Umformung in bis zu drei Stufen gleichzeitig) ermöglicht (Bild 5).

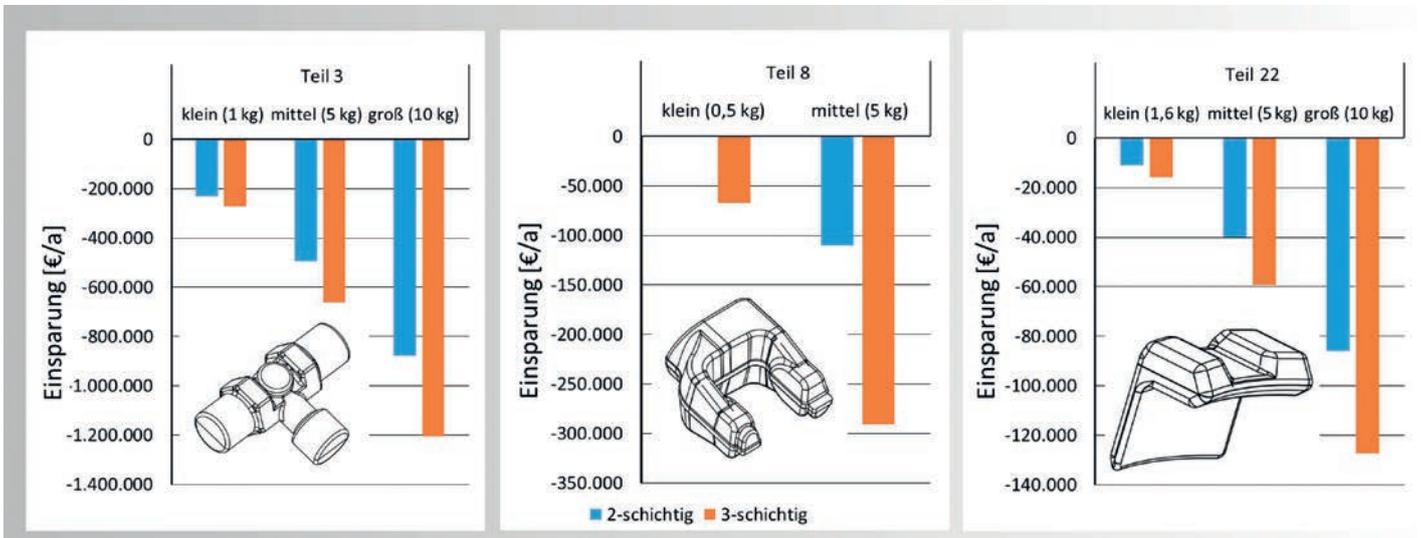


Bild 7: Gesamteinsparung bei gleicher Stückzahl und zwei- beziehungsweise dreischichtiger Auslastung.

Bilder: Autoren

Damit die in Abhängigkeit von der Bauteilgröße unterschiedlich hohen Kräfte, Arbeiten und Leistungen wirtschaftlich sinnvoll abgebildet werden können, wurde eine Baureihe mit drei unterschiedlichen Leistungsklassen (kleine, mittelgroße und große Bauteile) konzipiert.

**Optimierte Vorformen**

Für die Entwicklung optimierter Vorformen wurde auf das repräsentative Teilespektrum zurückgegriffen. Aus dem Pool der potenziellen „FlexiMat“-Teile, die eine durchschnittliche Materialeinsparung von 21 Prozent aufweisen, wurden drei Bauteile ausgewählt und optimierte Vorformen speziell für den FlexiMaten entwickelt. Hierbei orientierte man sich an der Massenverteilung der fertigen Umformprodukte, um einen bestmöglichen Materialwirkungsgrad zu erzielen. Die Vorformen wurden durch FEM-Stoffflussimulationen mit Hilfe des Simulationsprogramms FORGE® NxT entwickelt. Dabei konnte eine Materialeinsparung von 17 bis 31 Prozent erzielt werden, wobei die durchschnittliche Einsparung mit 22 Prozent ermittelt wurde.

Für die weiteren Untersuchungen im Rahmen des Vorhabens wurde eine durchschnittlich erreichbare Materialeinsparung von 20 Prozent zugrunde gelegt.

**Wirtschaftlichkeitsbewertung**

Auf Grundlage der drei genannten Bauteile wurde eine wirtschaftliche Gesamtbewertung durchgeführt. Um den Einfluss des Bauteilgewichts zu berücksichtigen, wurden die drei Bauteile unter Beibehaltung der Geometrie in ihrer absoluten Größe skaliert. Das der Wirtschaftlichkeitsbewertung zugrundeliegende Szenario ist in Bild 6 dargestellt.

Auf dieser Basis wurden sowohl die Stückkostendifferenzen als auch die Gesamteinsparungen ermittelt; das Ergebnis für das Gesamteinsparungspotenzial ist in Bild 7 zusammenfassend dargestellt.

Die Untersuchungen haben deutlich gemacht, dass nicht die prozentuale Materialeinsparung allein für die Materialeffizienz und damit die Wirtschaftlichkeit entscheidend ist, sondern die absolute Materialeinsparung, das heißt das Produkt aus prozentualer Einsparung und absolutem Teilegewicht. Weiterhin haben die Auslastung der Anlage (Anzahl Schichten), die Taktzeit und der Nutzen (Anzahl gleicher Gravuren je Umformstufe) – respektive die Anzahl der pro Jahr produzierten Teile – ebenfalls signifikanten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Bei dem in Bild 6 angenommenen Auslastungsprofil beträgt die Gesamteinsparung bei zweischichtiger Auslastung etwa 1.850 T€/Jahr und bei dreischichtiger Auslastung etwa 2.700 T€/Jahr.

**Zusammenfassung**

Im Rahmen eines FuE-Vorhabens wurde ein Vorformautomat für die Massivumformung konzipiert und bezüglich seiner Grundfunktionen entwickelt sowie hinsichtlich seiner Effizienz bewertet. Ausgehend vom erwärmten Rundmaterial sind in ein oder mehreren Stufen nahe-

zu beliebige Vorformgeometrien gratis und in einer linienkonformen Taktzeit herstellbar. Es können somit Massivumformteile mit hoher Materialeffizienz hergestellt werden. Beispielhafte Untersuchungen für ein repräsentatives Teilespektrum haben gezeigt, dass Materialeinsparungen von im Mittel 20 Prozent erreichbar sind. Inwieweit diese relative Materialeinsparung schlussendlich zu einer akzeptablen Wirtschaftlichkeit führt, hängt ganz wesentlich von dem absoluten Teilegewicht ab. ■

**Die beteiligten Projektpartner am Vorhaben waren**

- Fachhochschule Südwestfalen, Labor für Massivumformung (LFM)
- Lasco Umformtechnik GmbH

**Begleitet wurde das Projekt durch die Unternehmen**

- CDP Bharat Forge GmbH
- Hirschvogel Umformtechnik GmbH
- Mahle Motorkomponenten GmbH
- Rasche Umformtechnik GmbH & Co KG

**GEFÖRDERT VOM**



**Bundesministerium für Bildung und Forschung**



Prof. Dr. Rainer Herbertz



Franz Fuss



Rainer Labs



Sebastian Frank

**Förderhinweis**

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 17PNT023 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.