

3.3.2.4 Typische Prozesslösungen

Anhand ausgewählter Beispiele werden im folgenden Abschnitt Prozesslösungen zur Realisierung von IHU-Bauteilen vorgestellt und diskutiert.

Abgasteil

Die Fertigung von Abgassystemelementen für Kraftfahrzeuge ist ein wichtiges Anwendungsgebiet der Innenhochdruck-Umformung in der industriellen Praxis. Mit der Herstellung von Doppelteilen kann die Produktivität dieses Verfahrens noch erhöht werden. Die Festlegung der Teilungs- bzw. Symmetrieebene derartiger Bauteile wird u.a. durch folgende Kriterien bestimmt:

- Bauteilgeometrie
- minimaler Halbzeugeinsatz und maximale Werkstoffausnutzung
- Kraftwirkungen im Umformprozess
- Gewährleistung eines optimalen Werkstoffflusses

Insbesondere die Ausformbarkeit der bei diesen Bauteilen typischen Nebenformelemente unterstreicht den Handlungsbedarf für Variantenuntersuchungen mit Hilfe von Finite-Elemente-Simulationen. So wurde am Beispiel eines Abgasteils der Lageeinfluss der Symmetrieebene untersucht [52], die gleichzeitig die Trennlinie für das Vereinzeln der Bauteile darstellt. Abbildung 3.59. zeigt die dabei untersuchte Variante I.

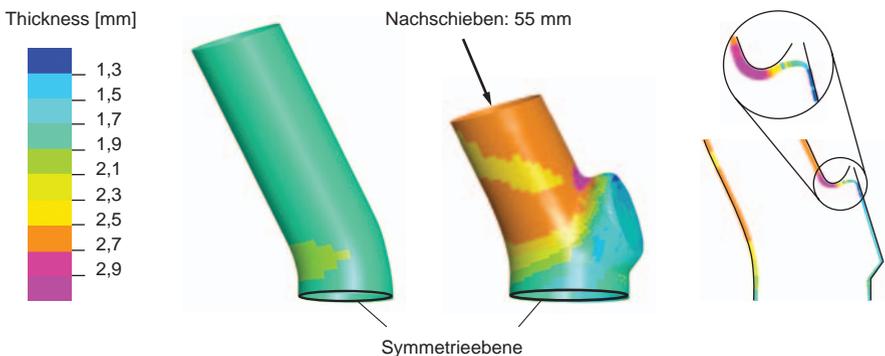


Abb. 3.59. Lage der Symmetrieebene (Variante I)

Das Simulationsergebnis zeigte, dass der Dom nicht ausgeformt werden konnte. Trotz Nachschiebens war es nicht möglich, der Umformzone eine ausreichende Werkstoffmenge zuzuführen. In Variante II wurde deshalb die Lage der Symmetrieebene geändert (Abb. 3.60.).

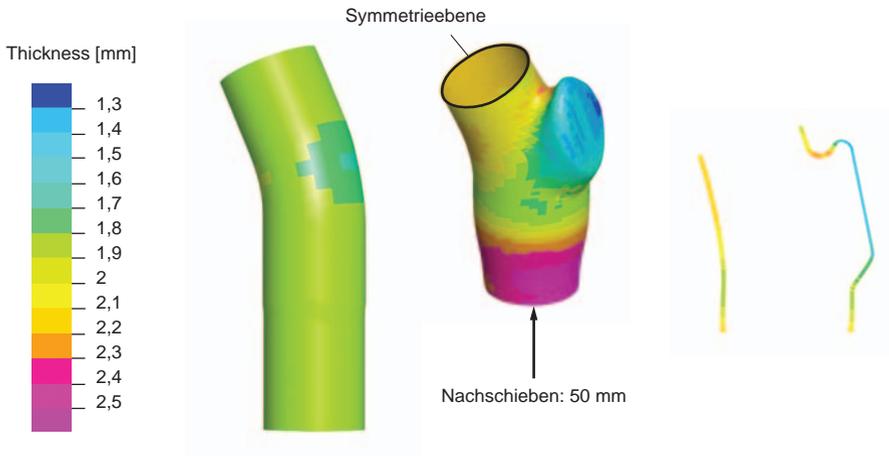


Abb. 3.60. Lage der Symmetrieebene (Variante II)

Diese Maßnahme führte zu einem deutlich verbesserten Werkstofffluss. Die Wanddickenunterschiede im Bauteil konnten reduziert, der Nachschiebeweg verkürzt und letztlich die Ausformung des Dombereichs gewährleistet werden. Die Simulationsergebnisse wurden anschließend im Realwerkzeug überzeugend bestätigt. Bereits das erste Bauteil konnte als Gutteil abgeformt werden (Abb. 3.61.).

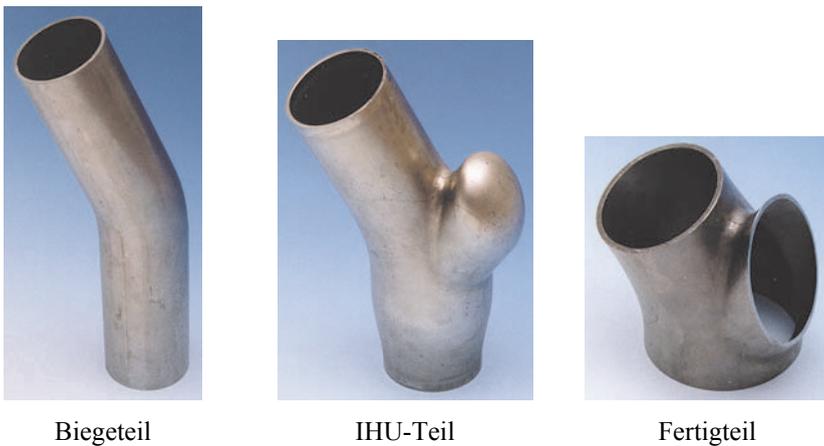


Abb. 3.61. Stadienfolge zur Realisierung des Realbauteils (HYDROFORMING CHEMNITZ GMBH & CO. KG)

Verteilerbalken

Die Herstellung von Verbindungs- bzw. Kupplungsstücken für Heizungs- und Sanitäreinrichtungen basiert gegenwärtig vor allem auf der Verwendung von Strangpressprofilen. Durch mechanische Bearbeitungsprozesse werden die Primär- und Sekundäranschlüsse dieser Verteilerbalken hergestellt (Abb. 3.62.).

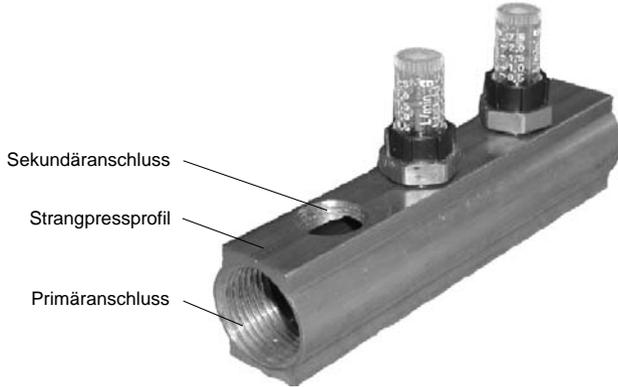


Abb. 3.62. Verteilerbalken konventioneller Bauart

Die grundlegende Abkehr vom bisherigen Design, der Einsatz dünnwandiger, rohrförmiger Halbzeuge sowie die Anwendung des Innenhochdruck-Umformens ermöglichen die Senkung des Werkstoffeinsatzes und der Fertigungszeiten [172].

Zum Nachweis der umformtechnischen Machbarkeit eines solchen neuartigen Verteilerbalkens wurden Simulationen mit dem FE-Code PAM-STAMP durchgeführt, wobei Ausgangshalbzeuge aus Edelstahl und Messing betrachtet wurden. Der Druckverlauf ist in Abb. 3.63. dargestellt.

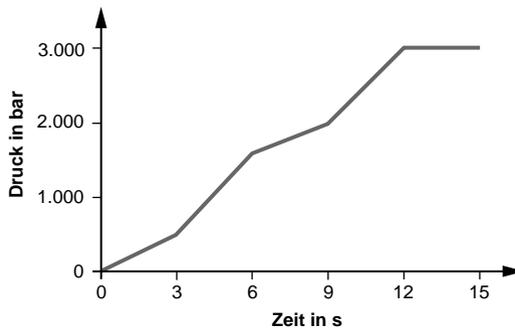


Abb. 3.63. Kurve für den Druckaufbau als Funktion der Zeit

Im Bereich $p_i = 0 \dots 500$ bar steigt die Druckkurve flach an, um eine gute Abdichtung des Halbzeugs zu ermöglichen. Danach erhöht sich die Geschwindigkeit des Druckaufbaus. In dieser Phase wird der Halbzeugdiameter vergrößert und im Werkzeug zur Anlage gebracht. Der geringere Druckanstieg im Bereich $p_i = 1.600 \dots 2.000$ bar soll zu einer vollständigen Ausformung des Bauteils beitragen. Die Kalibrierung der Verteilerbalkengeometrie erfolgt im Bereich $p_i = 2.000 \dots 3.000$ bar. In Abb. 3.64. ist die Wanddickenverteilung nach der Umformung eines Edelstahl X5CrNi18-10 (1.4301) dargestellt.

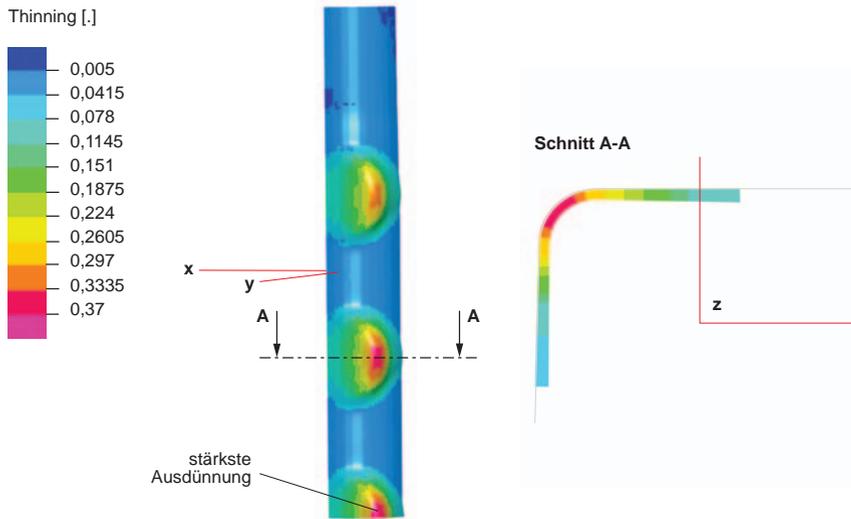


Abb. 3.64. Wanddickenverteilung nach der Umformung

Abbildung 3.65. zeigt einen Verteilerbalken, der unter Einstellung der in der Simulation ermittelten Prozessparameter umgeformt wurde.

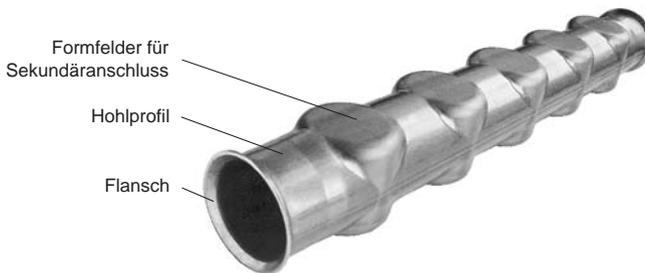


Abb. 3.65. Verteilerbalken

In den Formgebungsprozess sind zusätzliche Operationen integrierbar. So kann die gewünschte Flanschkontur mit Hilfe der Axialstempel und eines entsprechend ausgelegten Umformwerkzeugs erzeugt werden. Die Herstellung der Öffnungen für die Sekundäranschlüsse ist mit Hilfe integrierter Lochoperationen möglich.

Gebaute IHU-Nockenwelle

Zur Herstellung von Nockenwellen kamen in der Vergangenheit massive, vorwiegend geschmiedete oder gegossene Ausgangswellen zum Einsatz, die spanend fertigbearbeitet wurden. Die Abkehr vom früheren Nockenwellendesign, die Verwendung rohrförmiger Halbzeuge sowie der Einsatz separat gefertigter Nocken führten zu gebauten Nockenwellen, was deutliche Einsparungen hinsichtlich des erforderlichen Werkstoffeinsatzes bewirkte. Mit Anwendung der Innenhochdruck-Umformtechnologie können weitere Massereduktionen erreicht werden.

Nachfolgend wird der Ablauf des Innenhochdruck-Umformprozesses zur Herstellung einer gebauten Nockenwelle beschrieben [51, 172].

Nach der Vorbereitung des rohrförmigen Ausgangshalbzeugs durch Sägen und Entgraten wird eine festgelegte Anzahl von Nocken auf das Rohrstück gefädelt und im Umformwerkzeug mit Hilfe von Nockennestern positioniert. Das Werkzeug wird anschließend geschlossen. Es erfolgen das Andocken der beiden Axialstempel sowie das Abdichten des Ausgangshalbzeugs. Die Befüllung des Ausgangshalbzeugs führt zum Druckaufbau. Aufgrund des relativ geringen Innendrucks zu Beginn der Umformoperation wird weiterhin Werkstoff nachgeschoben und damit eine Aufdickung des Rohrendbereichs ermöglicht.

Mit steigendem Innendruck wird die Werkzeuggravur zunehmend ausgefüllt, wodurch die Nockensitze sowie die Verbindungen zwischen Nocken und rohrförmigem Halbzeug ausgebildet werden (s.a. Abschn. 3.5.3.3). Abschließend wird bei maximal möglichem Innendruck $p_{i \max}$ die finale Bauteilgeometrie kalibriert (Abb. 3.66).



Abb. 3.66. Gebaute IHU-Nockenwelle

Leichtbau-Nockenwelle

Eine weitere Entwicklungsstufe auf dem Gebiet der Leichtbau-Nockenwelle ist die Substitution der massiven Nocken durch im IHU-Prozess hergestellte Nocken, die nachträglich mit verschleißfesten Keramik- oder Hartmetallschichten versehen wurden. Die umformtechnische Herausforderung besteht dabei vor allem in der Ausformung der Nockenkonturen.

Zur Machbarkeitsprüfung dieses Nockenwellenkonzepts wurden Finite-Elemente-Simulationen (PAM-STAMP) einer praxisrelevanten Versuchswerkstückgeometrie durchgeführt (Abb. 3.67.).

Thickness [mm]

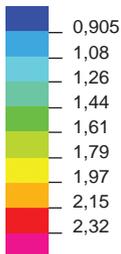


Abb. 3.67. Simulation zur Bewertung der Machbarkeit der Leichtbau-Nockenwelle

Die Ausgangswanddicke des Rohres, der Rohrwerkstoff selbst sowie die Nockengeometrie repräsentierten wesentliche, sich unmittelbar auf das Umformergebnis auswirkende Einflussfaktoren. Abbildung 3.68. zeigt die technische Realisierung dieses Nockenwellenkonzepts.



Abb. 3.68. Versuchswerkstück Leichtbau-Nockenwelle

IHU-Strukturbauteil

Bei Space-Frame-Konzepten spielt insbesondere die Frage der Verbindung einzelner Komponenten eine große Rolle. Die Nutzung von Gussknoten ist dabei eine Möglichkeit, die einzelnen Profile miteinander zu fügen. Die Substitution dieser gegossenen Bauteile durch IHU-Komponenten kann zu einer weiteren Massereduktion und Kostensenkung beitragen. Nachfolgend

wird die Stadienfolge zur Herstellung eines Elements derartiger Strukturbauteile erläutert.

In einer ersten Fertigungsstufe wird unter axialem Nachschieben und aktivem Gegenhalten ein T-Stück ausgeformt. In der zweiten Fertigungsstufe erfolgt durch das Schließen der Werkzeughälften eine mechanische Deformation ohne Innendruck. Danach wird durch Kalibrieren ein vollständiges Anlegen an die Werkzeugoberfläche erreicht, der Dom wird aufgeweitet. Die letzte Fertigungsstufe ist das Stülpen gegen geringen Innendruck. Diese Stufenfolge wurde mit Hilfe der Simulation so optimiert, dass Realbauteile hergestellt werden konnten. In Abb. 3.69. sind die Stadienfolgen sowohl für das Simulations- als auch für das Realbauteil dargestellt.

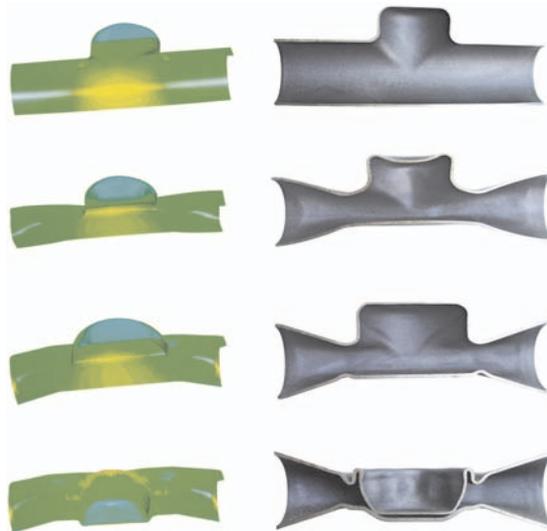


Abb. 3.69. Vergleich Simulation (links) und Realprozess (rechts) eines Strukturbauteils

3.4 Hydro-Blechumformung

3.4.1 Vorformen

Bei bestimmten Bauteilen ist es erforderlich, die als Halbzeug eingesetzten Einzelplatinen, Doppelplatinen oder auch gefügten Platinen vorzuformen. Ziel ist es, die einzubringende Formänderung so aufzuteilen, dass im Hauptumformvorgang Versagensfälle vermieden und maximale Gebrauchswerteigenschaften erreicht werden. Die vorgeformten Platinen