

Praxisgerechte Biegesimulation als Vorformoperation für den IHU-Prozess

Thomas Bach

SimuForm GmbH, Dortmund, Deutschland

Abstract:

In contrast to the deep drawing process the Finite-Element-Method is not widely used for investigating or designing a certain bendingline. Due to the complexity of the bending process the user needs to have an understanding which parameters influence the bending results. He has also to know which parameter are feasible to vary for creating a proper bending result. This paper gives a short introduction into the tube bending process. It is shown how a variation of tube preforming can support the hydroforming process.

Keywords:

Tube Bending, CNC-Bending, Hydroforming

1 Vom gebogenen Rohr zum IHU-Prozess

Als Vorformoperation kommt dem Biegen innerhalb der IHU auf Grund der häufigen Anwendung besondere Bedeutung zu. Die Vorformoperation bestimmt dabei durch die Wahl der Biegeparameter und die Auslegung der Biegelinie die Massenvorverteilung für den anschließenden IHU-Fertigungsschritt. Hier "verbraucht" Formänderungsvermögen, steht in der in der IHU-Stufe nicht mehr zur Verfügung und reduziert daher möglicherweise die Robustheit des Aufweitvorganges.

Die Auslegung der Halbzeugmaße für ein IHU-Bauteil geschieht in der Regel auf Basis der konstruierten Bauteilumfänge. Die Halbzeugmaße werden üblicherweise mit einer geringen Umfangsreduzierung zu den Bauteilumfängen gewählt. Geometrieänderungen des Halbzeugs auf Grund des gewählten Fertigungsverfahrens, beim Rundbiegen z.B. die Ovalisierung oder der Rohreinfall [1], werden hierbei oft nicht berücksichtigt. Durch die Ovalisierung reduziert sich der Rohrumfang im Biegebogen, wodurch die realen Umfangserweiterungen im IHU-Prozess oft deutlich höher liegen als die nominellen Umfangserweiterungen. In der Konstruktion ist eine Bestimmung des Rohreinfalls auf Grund der vielen Einstellparameter beim Biegen für den Bauteilkonstrukteur allerdings kaum möglich.

Innerhalb der Auslegung von Tiefziehteilen und Tiefziehwerkzeugen hat sich die FEM-Simulation mittlerweile als gängiges Werkzeug etabliert. Dagegen ist die Auslegung einer Biegelinie mit Hilfe der FEM eher selten. Neugebauer und Laux [2] zeigen, „[...] dass die FEM als Werkzeug für die Beurteilung des Biegeprozesses bisher kaum genutzt wurde. Eine Vielzahl der Publikationen basieren ausschließlich auf experimentellen Untersuchungen“. Die Technologie des Biegens wird somit überwiegend in der Fertigung entwickelt. Die Qualität der gebogenen Halbzeuge hängt dabei oft von den Kenntnissen und dem „Fingerspitzengefühl“ der Mitarbeiter in der Fertigung ab.

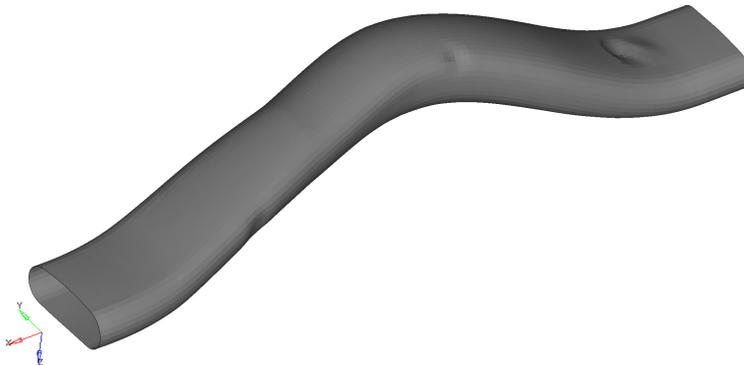


Bild 1: Typische Geometrie eines IHU-Bauteils

Innerhalb der Prototypenversuche wird anschliessend mit aufwändigen Probiebungen und hohem Materialeinsatz eine konstruierte Rohrvorform angepasst, die den Anforderungen für das bestehende IHU-Werkzeug gemäß Bild 1 gerecht wird.

2 Das Rundbiegen mit Kugeldorn

2.1 Parameter eines Biegebogens in der Fertigung

Das Ergebnis einer gebogenen Rohrvorform mit mehreren Bögen hängt von den Biegeparametern jedes einzelnen Bogens und von der konstruierten Biegelinie ab.

Bild 2 zeigt einen Werkzeugsatz mit Gliederdorn mit einer Kugel. Die Spannbacken ziehen das Rohr um die sich drehende Biegeschablone. Dabei stützt sich das Rohr an der mitlaufenden Gleitschneide ab. Der Kugeldorn wirkt einem Einfall der Rohrwand am Außenbogen entgegen. Der Faltenglätter verhindert durch ein Abbremsen des Werkstoffflusses eine Faltenbildung im Innenbogen.

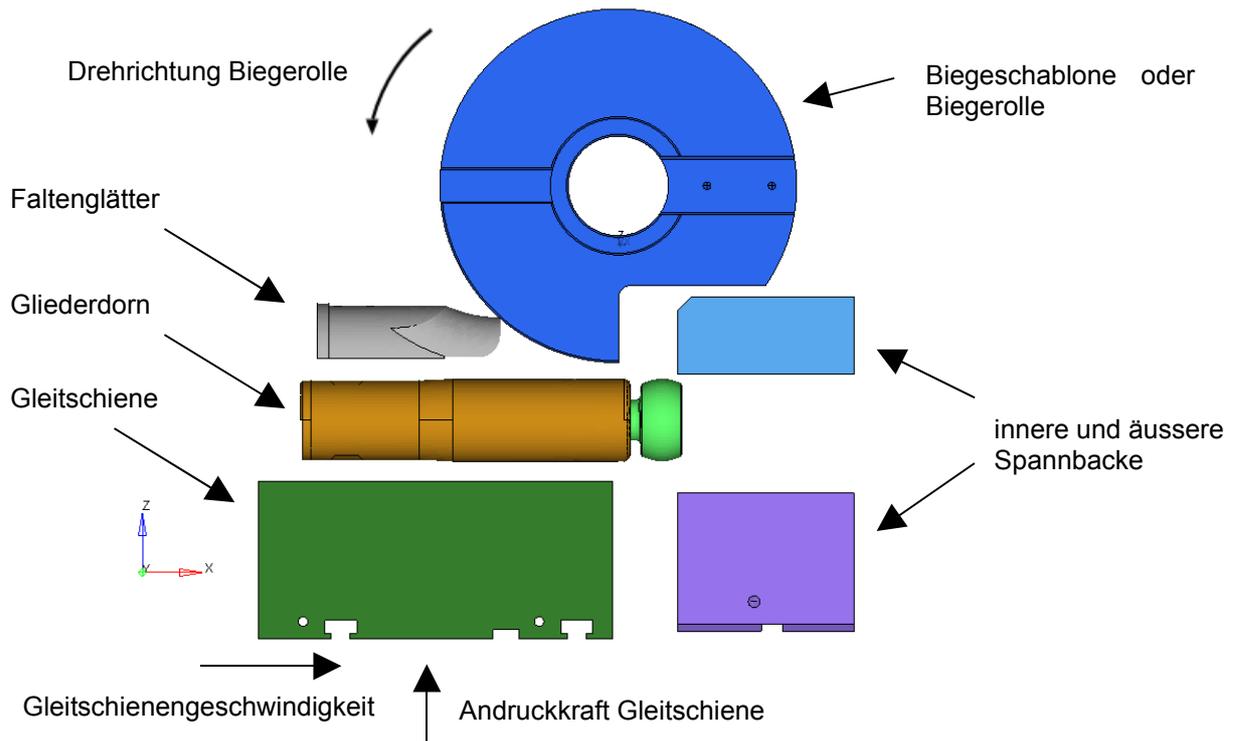


Bild 2: Biegewerkzeug , Gliederdorn mit einer Kugel

Von diesen Geometrien sind die in Bild 3 dargestellten Werkzeugwirkflächen als Starrkörper abgeleitet.

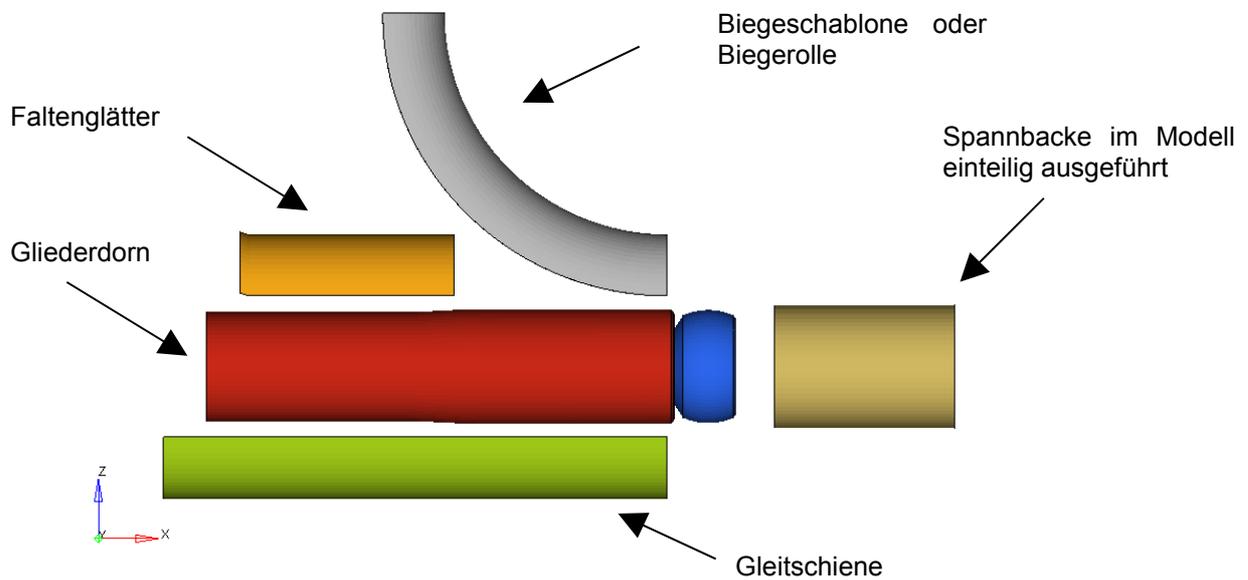


Bild 3: Starrkörper der Werkzeugwirkflächen des Biegewerkzeugs mit Gliederdorn

Die folgenden Einstellparameter sind "gänige Praxis" an der Biegemaschine

1. Gleitschienen-geschwindigkeit
2. Andruckkraft Gleitschiene
3. Boosting (axiales Nachdrücken an der Stirnseite des Rohrendes)
4. Anstellwinkel Faltenglätter zur Rohrachse
5. Dornposition (fest oder mit gesteuertem Rückzug)

Durch eine Erhöhung der Gleitschlingengeschwindigkeit gegenüber der Drehgeschwindigkeit der Biegeschablone und einer Erhöhung der Andruckkraft kann der Einfall und die Abstreckung am Außenbogen reduziert werden. Durch axiales Nachdrücken am Rohrende (boosting) kann zusätzlich mehr Material in den Außenbogen gebracht werden. Dies erhöht wiederum die Gefahr der Faltenbildung am Innenbogen. Hier muss mit Hilfe des Faltenglätters in Form einer erhöhten Bremswirkung gegengesteuert werden. Ein Parameter dabei ist der Anstellwinkel des Faltenglätters. Zusätzlich hat die Position des Biegedorns einen Einfluss auf den Rohreinfall und die Wandstärkenabstreckung am Biegebogen.

Zur Zeit wird in der Fachwelt diskutiert, ob der Anstellwinkel des Faltenglätters in diesem Punkt wirklich eine Funktion hat, oder möglicherweise nur die Maschineneigenschaften im Biegekopf ausgleicht. Neugebauer und Laux [2] stellen dar, dass die achsparallele Lage des Faltenglätters innerhalb der Simulation vorzuziehen ist. Eigene Untersuchungen bestätigen dies. Eine Anstellung des Faltenglätters führt bei den mit Starrkörpern modellierten Werkzeugflächen möglicherweise zu fehlerhaften Simulationsergebnissen. Die Bremswirkung am Faltenglätter kann, wie in [3] beschrieben, über eine Variation der Reibung vorgenommen werden.

Die Spannbacken sind im Simulationsmodell einteilig ausgeführt. Eigene Erfahrungen bestätigen die Aussage von [1] nachdem die Modellierung des Einspannvorganges des Rohres nicht notwendig ist. Wenn sich die Einspannlänge des Rohres an allgemein gültige Vorgaben hält, ist die einteilig ausgeführte Spannbacke als ausreichend zu bezeichnen. Die Mitnahme des Rohres erfolgt innerhalb dieses Modells über einen hochgesetzten Reibkoeffizienten zwischen Spannbacke und Rohr. Dies erlaubt ein Abheben der Rohraussenwand von der Spannbacke, was für die korrekte Darstellung des Rohreinfalls notwendig ist, siehe Bilder 4 und 5.

2.2 Simulation des Biegevorganges an Hand eines Bogens

Simuliert wurde ein 35° Biegebogen mit einem Rohr 600x87x2,7 aus ST52 und einem Biegeradius von $R=200\text{mm}$. Die Klemmlänge beträgt $1,5 \times D$.

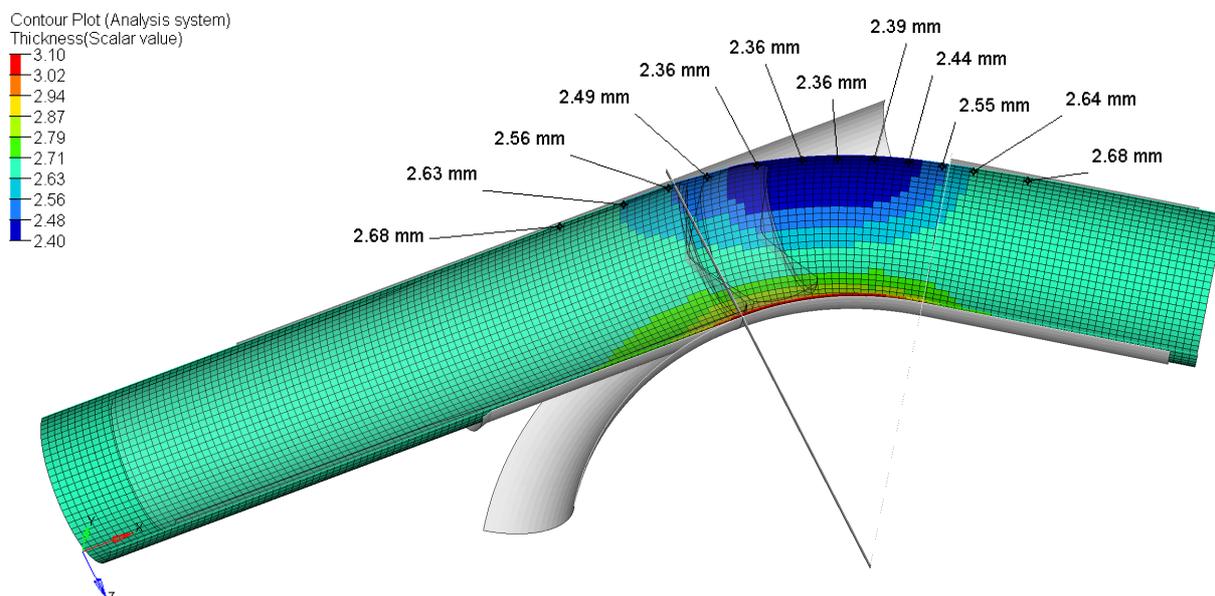


Bild 4: Wandstärkenverteilung im Biegebogen mit fester Dornposition, $s_0=2,7\text{mm}$, ST52

Bild 4 zeigt die Wandstärkenverteilung im Biegebogen mit feststehendem Dorn, ohne boosting und einer Gleitschienenbewegung gemäss der Umfangsbewegung der Biegerolle.

Dagegen zeigt Bild 5 die Wandstärkenverteilung im Biegebogen mit gesteuertem Dornrückzug und einer Boostingkraft von $F=45\text{kN}$. Der Dornrückzug lässt am Aussenbogen einen höheren Rohreinfall zu, der eine geringere Abstreckung bewirkt.

Innerhalb der zweiten Simulation zeigt sich die Tendenz, dass am Bogenanfang teilweise mit höheren Abstreckungen zu rechnen ist als am Bogenende, was auch in der Praxis bestätigt wird. In Abhängigkeit von der lokalen Dehnungen im IHU-Prozess kann es daher durchaus sinnvoll sein, sich bei der Konstruktion der Biegewerkzeuge oder bei der Planung der Biegefolge Gedanken zu machen, ob eine Rohrgeometrie von „links nach rechts“ oder von „rechts nach links“ gebogen werden soll. Bei Biegewerkzeugen mit Formbacken lässt sich eine einmal festgelegte Biegefolge nicht mehr ändern.

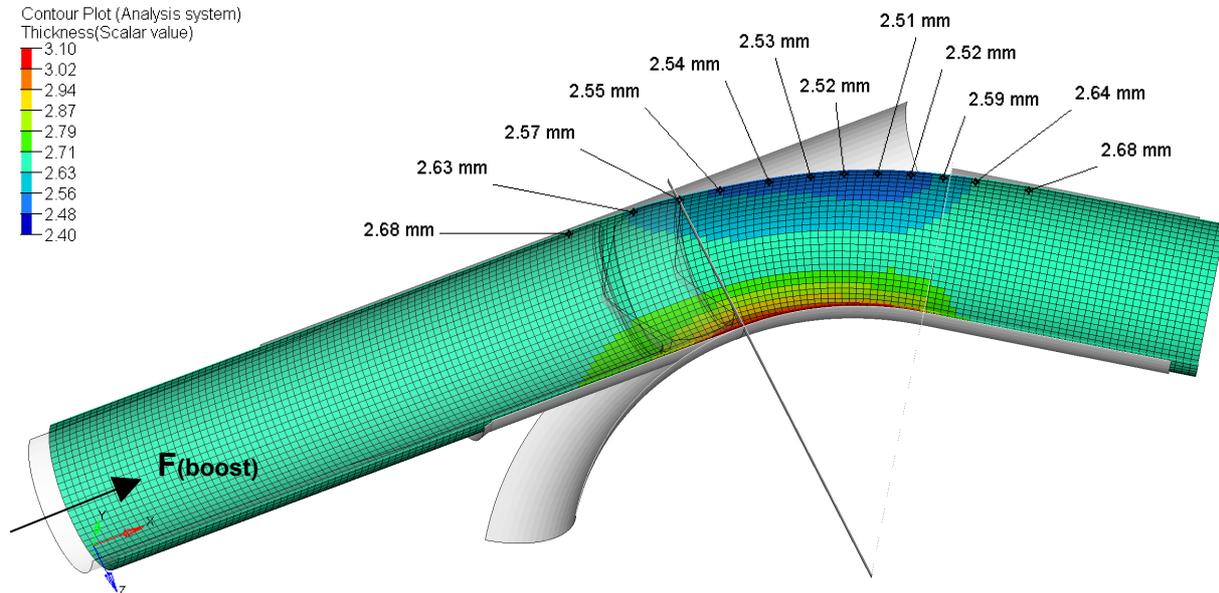


Bild 5: Wandstärkenverteilung im Biegebogen mit Dornrückzug und boosting: $s_0=2,7\text{mm}$, ST52

3 Das Biegen einer Biegelinie mit 3 Bögen

3.1 Parameter einer Biegelinie mit 3 Biegungen

Die folgenden Parameter bestimmen die Gestalt der zu biegenden Rohrvorform mit den Halbzeugmaßen 1170x87x2,7.

1. Anzahl der Biegungen
2. Biegewinkel
3. Verdrehwinkel
4. Positionen der Biegewinkel im Bauteil
5. Biegeradien

Verschieben Verdrehwinkel Biegewinkel

1.	145,0	-	26,2°
2.	164,9	158,0°	39,8°
3.	300,4	148,7°	18,0°

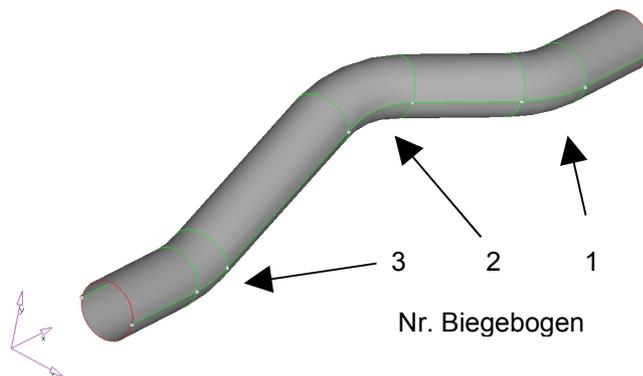


Bild 6: Biegetabelle für 3 Biegungen und konstruierte Rohrgeometrie

Die Anforderungen aus der Praxis an eine Biegelinie sind: möglichst wenig Biegeradien, ein gleicher und möglichst großer Biegeradius für alle Biegungen sowie eine ausreichend lange Klemmlänge zwischen den Radien, um auf Formbacken verzichten zu können. Eine weitere Forderung ist die Auslegung der Biegewerkzeuge mit möglichst wenig beweglichen Teilen, im vorliegenden Fall zum Beispiel mit einer Kugel. Kleinere Radien werden im Einförmprozess, das heißt beim Schließen der IHU-Werkzeughälften erzeugt.

Hieraus ergibt sich die in Bild 6 dargestellte Rohrvorform mit der entsprechenden Biegetabelle.

3.2 Biegeergebnis mit und ohne Dornrückzug für die Biegelinie mit 3 Bögen

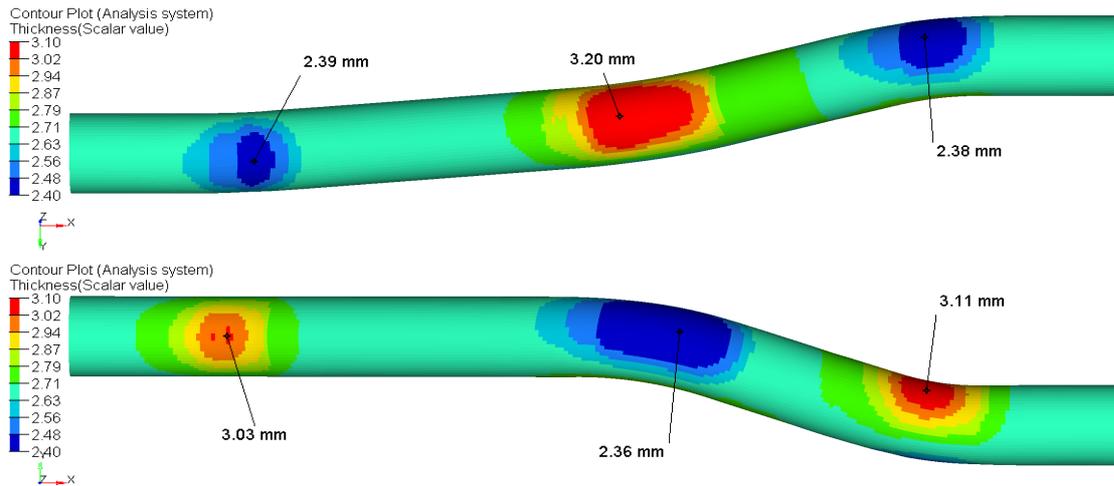


Bild 7: Wandstärkenverteilung mit fester Dornposition: $s_0=2,7\text{mm}$

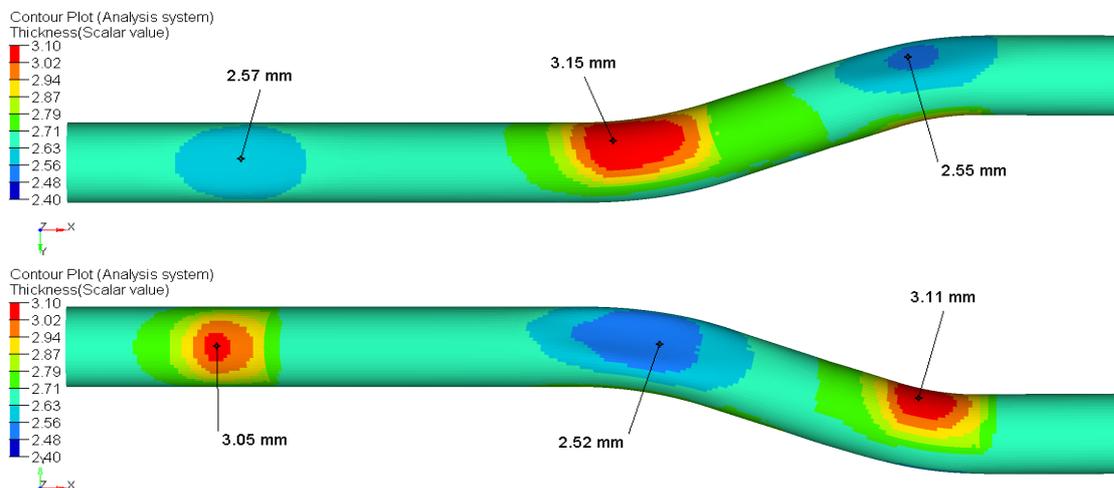


Bild 8: Wandstärkenverteilung mit Dornrückzug und boosting: $s_0=2,7\text{mm}$

Die Bilder 7 und 8 zeigen das unterschiedliche Biegeergebnis mit den für die Einzelbögen vorgenommenen Variationen.

4 Der IHU Prozess

Der IHU-Prozess lässt sich in folgende Prozessschritte unterteilen: Werkzeugschließen und Aufweiten mit axialem Nachschieben. Der für diese Bauteil maximal simulierte Innendruck beträgt $p=100\text{MPa}$.

4.1 Umformergebnis nach dem Einförmigen ins IHU Werkzeug

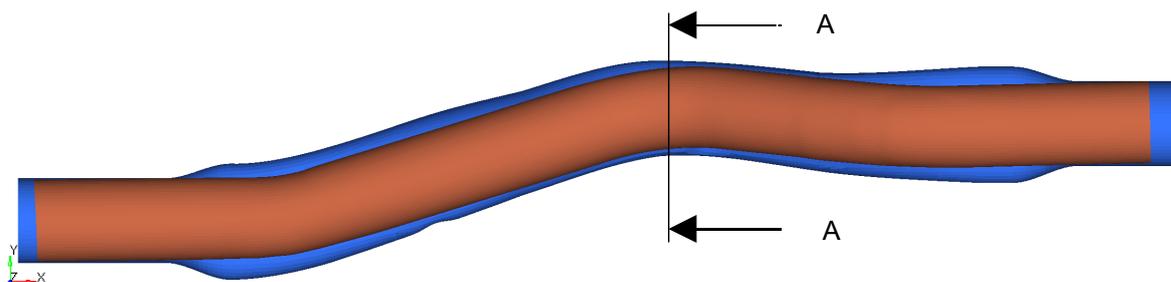


Bild 9: Lage des Rohres über dem IHU-Werkzeug zu Prozessbeginn

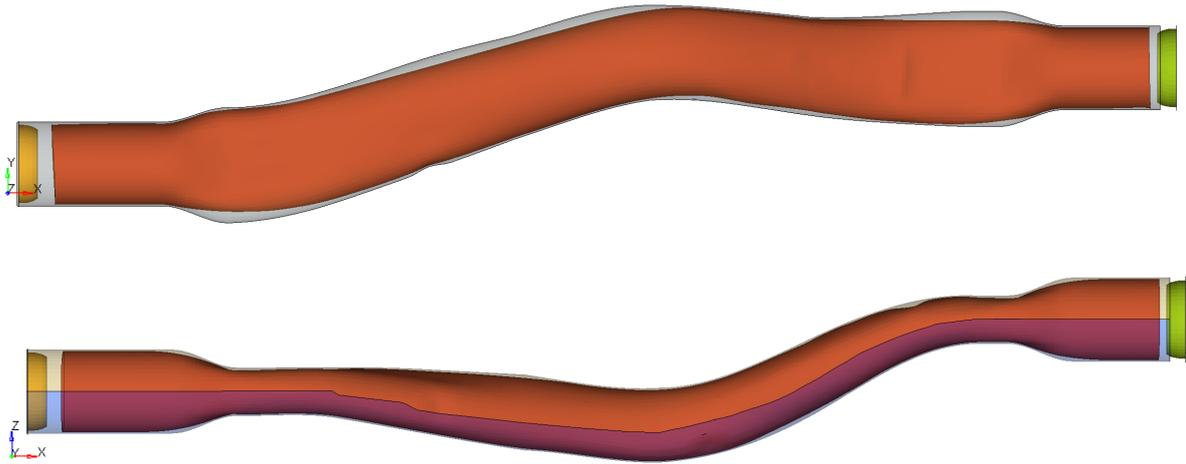


Bild 10: Lage des Rohres im IHU-Werkzeug nach dem Einformen (schließen der Werkzeughälften, Rohr gebogen ohne Dornrückzug)

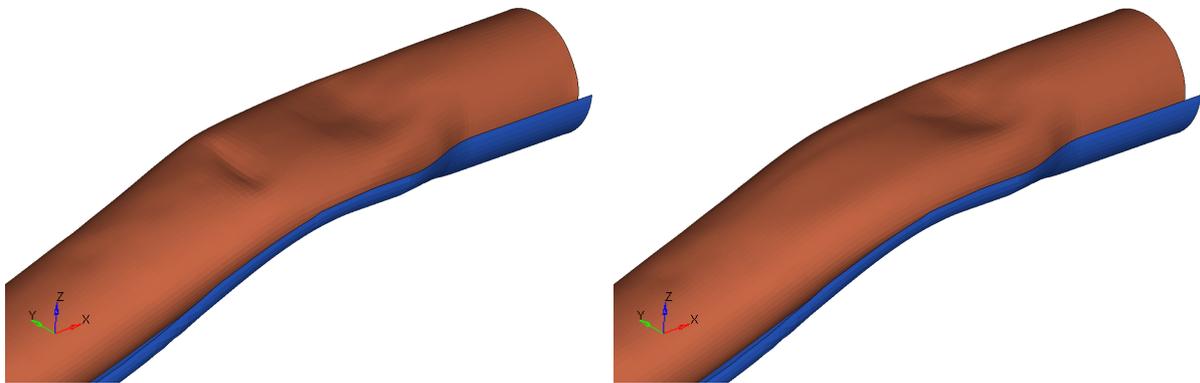


Bild 11: Reduzierte Faltenbildung auf Grund des höheren Rohreinfalls am gebogenen Rohr mit Dornrückzug (rechts)

Auf Grund des höheren Rohreinfalls am Aussenbogen von Bogen 1 reduziert sich in diesem Bereich auch die Neigung zur Faltenbildung beim Einformen der Rohre.

4.2 Umformergebnisse beim Aufweiten

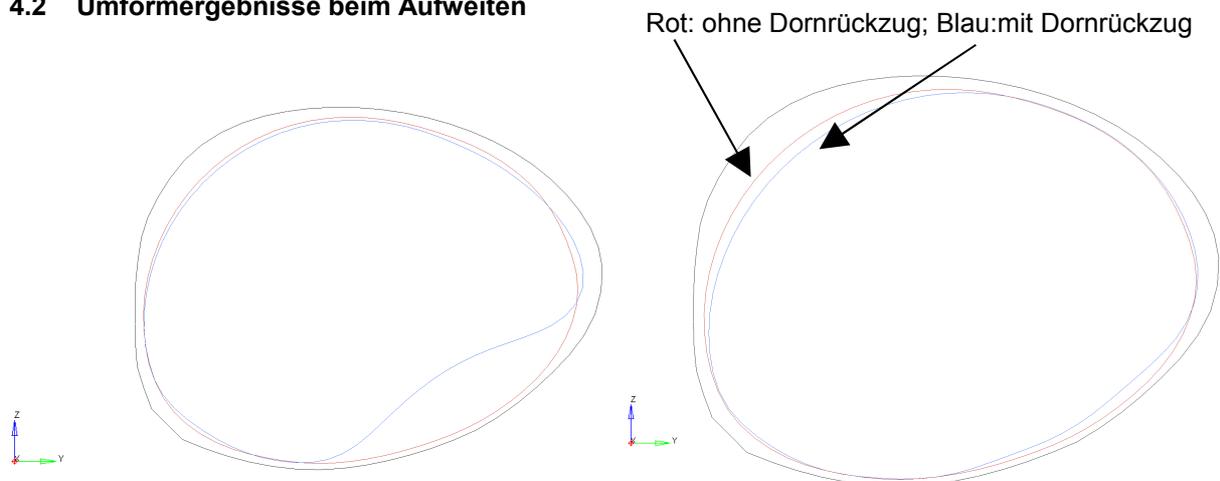


Bild 12: Lage der Rohrquerschnitte nach dem Einformen (links) und bei einem Innendruck von $P_i=16\text{MPa}$ (rechts) im Querschnitt A-A

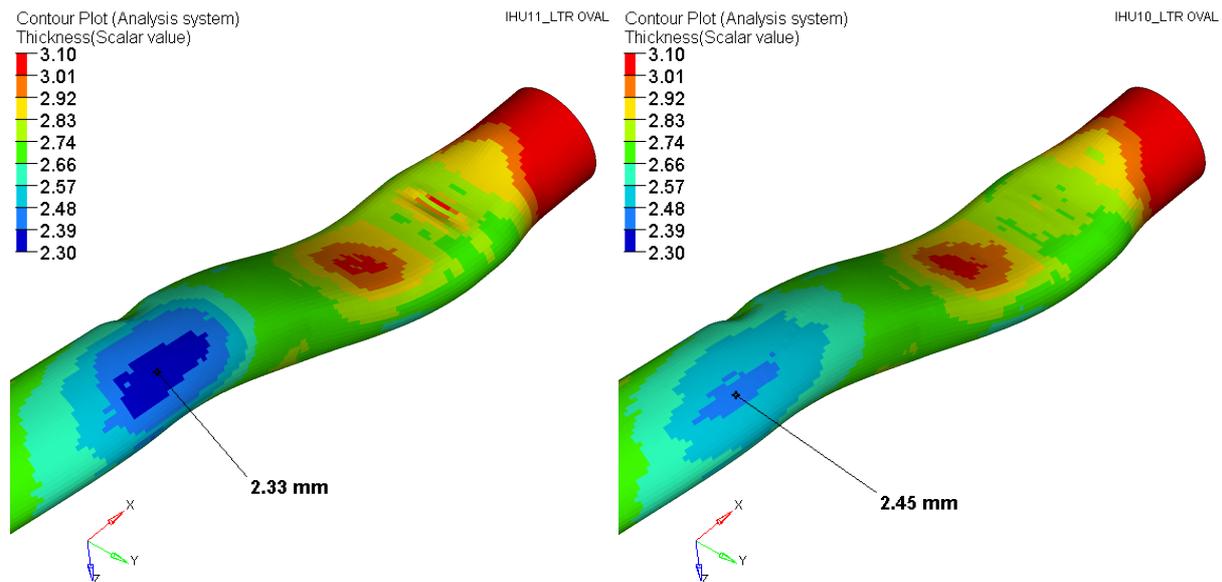


Bild 12: Restwandstärke am Bogen 2 bei einem Innendruck von $p_i=100\text{MPa}$

Die größere Restwandstärke des gebogenen Rohres mit Dornrückzug kann bis zum Ende der IHU-Aufweitung aufrecht gehalten werden, was einen robusteren IHU-Prozess ermöglicht. Sollten die Bauteilanforderungen es zulassen, wäre es im Umkehrschuss auch möglich, ein Halbzeug mit einer dünneren Ausgangswandstärke einzusetzen.

5 Zusammenfassung

In gängigen Geometriebereichen lassen sich mit Hilfe der FEM optimal an die Bauteilgeometrie angepasste Biegelinien und Biegeparameter ermitteln. Gegebenenfalls ist es möglich, durch einen gezielten Rohreinfall und einen größeren Halbzeugdurchmesser andere kritische Aufweibereiche im Bauteil zu entschärfen.

Anstatt mit einem vorgegebenen Halbzeugumfang vorgegebene Bauteilumfänge aufzuweiten, könnten mit Hilfe der Biegesimulation die Bauteilumfänge auf die Umfänge des gebogenen Halbzeugs angepasst werden. Es ist somit möglich einen robusten IHU-Prozess zu gestalten, der unter Umständen sogar alle Toleranzen vom Halbzeug bis zum eigentlichen Produktionsprozess verkraftet.

Im reinen Konstruktionsprozess sind die Parameter des Biegeprozess kaum zu berücksichtigen oder zu erfassen. Um diese Parameter innerhalb der Umformsimulation berücksichtigen zu können, ist eine inkrementelle Simulation des Biegeprozesses erforderlich.

Mit Hilfe der Flächenrückführung in das CAD-System ließen sich hierdurch fertigungstechnisch angepasste und optimierte Vorlagen für die Bauteilkonstruktion, die Methodenplanung und die Gestaltung der Werkzeugwirkflächen erstellen.

6 Literatur

- [1] Franz, W.-D.: Maschinelles Rohrbiegen; Verfahren und Maschinen, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1988
- [2] Neugebauer, R.; Laux, G.: FEM-Modellierung und Simulation des Biegens von Rundrohren; Symposium „Simulation in der Produkt- und Prozessentwicklung“, November 2003, Bremen
- [3] B. Engel: Biegen von Rohren; 4. Internationale Konferenz "Hydroumformung", 25. Oktober 2005