



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Institut für  
Fertigungstechnik und  
Photonische Technologien



## Diplomarbeit

# Mechanisches Modell zur Ermittlung der Steifigkeit des Wellenaufbaus eines Walzgerüstes

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Master of Science unter der Leitung und Betreuung von

**Univ.-Prof. Dipl. Ing. Dr. Friedrich Bleicher (Leitung)**

**Projektass. Dipl.-Ing. Matthias Lamprecht (Betreuung)**

**Projektass. Dipl.-Ing. Martin Leonhartsberger (Betreuung)**

(Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien)

**Privatdoz. Mag. Dr. Yury Vetyukov (Leitung)**

**Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Michael Krommer (Betreuung)**

(Institut für Mechanik und Mechatronik)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Emin Koçbay**

01325795 (E 066 445)

Josef Schleussner-Straße 8-10/1/9

2340 Mödling

Mödling, im September 2019

Emin, Koçbay

## Kurzfassung

Beim Walzprofilieren wird durch Kaltumformung ein Produkt gefertigt. Dies geschieht in der Art, dass ein zu bearbeitendes Blech, durch mehrere, hintereinander geschaltete, paarweise angeordnete Arbeitswellen, eine Bearbeitung erfährt. Die formgebenden Werkzeuge sind hierbei nicht die Wellen selbst, sondern profilierte Rollen/Walzen, die als Nabe auf der Welle fungieren. Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, ein mechanisches Modell zur Berechnung der auftretenden Deformationen, an dem Wellenaufbau eines Walzgerüsts, zu bestimmen und damit eine Aussage über die Steifigkeiten des Systems zu tätigen. Die Welle wird hierbei als ein strukturmechanisches Element, in Form eines geraden Balkens, angesehen. Es gibt unterschiedliche Balkentheorien und Modelle, die im Rahmen dieser Arbeit in Betracht gezogen werden. In einem ersten Schritt, wird zunächst nur die Welle als geometrisch und physikalisch linearer Euler-Bernoulli- und Timoshenko-Balken betrachtet. Da sich im Weiteren die Modellbildung der Welle, speziell hinsichtlich der Lagerung, als herausfordernd darstellt, wird als Ziel festgelegt, nur die Welle zu untersuchen. Es kommt also im Rahmen dieser Arbeit, keine Betrachtung des Verbundes Welle mit Rollen zu Stande. In der Arbeit kommen sowohl analytische, als auch numerische Modellbildungsansätze zum Einsatz. Zusätzlich gibt es auch einen konkreten Versuchsaufbau, von der zu untersuchenden Welle der Walzprofilieranlage. Dieser dient als experimentelle Referenz zur vorliegenden theoretischen Arbeit. Als weitere Referenz dienen bereits durchgeführte FEM-Simulationen des IFT, die als Vergleich herangezogen werden.

Angestrebt wird ein möglichst gutes mechanisches Modell des Wellenaufbaus, womit es möglich ist, die „Biegelinie“ in guter Näherung bzw. guter Übereinstimmung mit der Realität zu berechnen. Für diesen Zweck werden einige Modelle entworfen und teilweise wieder verworfen bzw. angepasst. Es wird festgelegt, dass es sich beim finalen, numerischen Modell der Welle, um einen vollkommen linearen und schubweichen Timoshenko-Balken handelt. Es kommt ein FEM-Modell zum Einsatz, bei dem die Diskretisierung mittels entsprechender, schubweicher, 1D-Balkenelemente erfolgt. Ein geeignetes Modell der Lagerung zu finden, stellt sich als herausfordernd dar. Für die Identifikation der Lagerungsart und den entsprechenden Lagerparametern, werden die Messergebnisse aus den Versuchen herangezogen. In der Modellbildung der Lagerung, finden Ansätze in Form von idealen Lagerungsarten, bis hin zu nachgiebigen Lagerungsarten, in Form von elastischen Federn, Anwendung. Schlussendlich setzt sich ein Modell der Welle durch, wo die Lagerung in Form von zwei linearen, translatorischen Federn und einer nichtlinearen (kubischen) Drehfeder erfolgt. Es hat sich gezeigt, dass das damit gefundene Modell der Welle samt Lagerung, auch über einen variablen Lastbereich, eine sehr gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen liefert. Das gefundene nichtlineare Modell und dessen Parameter, werden als Ergebnis dieser Arbeit angesehen.

## Abstract

Roll forming is a process, that makes it possible, to create a product by cold forming. The forming process of the input material, which is typically a metal sheet, is carried out by two steel shafts. The shafts have profiled rolls on them, which serve as hubs. The rolls are responsible, for the forming process. The metal sheet is just being fed to consecutively arranged, multiple pairs of shafts with forming rolls. By experiencing a different deformation on each pair of rolls, the final product is obtained. The aim of the presented thesis is to create a mechanical model of such a forming shaft. The mechanical model should be able to accurately predict the deformations and the stiffness of the shaft, of such a roll forming system. The shaft is modeled as an element of structural mechanics, it's being viewed as a straight beam. Different theories, such as the shear rigid Euler-Bernoulli-Theory or the Timoshenko-Theory, which accounts for shear deformation, are available. Both are considered, in presented work. In the first step, the shaft will be modeled, as a fully linear behaving (geometrically and physically), Euler-Bernoulli and/or Timoshenko beam. The modeling process for the shaft, especially concerning the support of the shaft, isn't straightforward. Thus, it is agreed upon to only investigate the shaft without rolls. So, concerning the presented thesis, only the shaft without rolls, will be the object of study. Both, analytical and numerical modeling approaches are considered. Also, an experimental setup of the roll forming system exists. It is used as an experimental reference, to the conducted theoretical research, in this thesis. Another reference is the numerical FEM analysis, conducted by the IFT.

Ultimately, the aim is to find a good mechanical model, which enables the calculation of the deflection curve of the considered beam. Calculated results should be in good compliance to the experimental measurements. In order to be able to, some models are created and a part of them are dismissed again or adjusted accordingly. It is pointed out, that the final, numerical model of the shaft, is a fully linear behaving Timoshenko beam. The used model is a FEM model and the discretization is carried out by using 1D beam elements, that are in accordance with the Timoshenko theory. Finding an appropriate model for the support of the shaft, turns out to be quite challenging. In order to identify the type of support and the parameters used for it, the experimental measurements are used. In the modeling approach for the support, fully ideal supports, as well as elastic supports, in form of springs, are considered. Finally, a model where the support is being modeled with elastic springs, prevails. Springs being used, are two linear translational springs, and one nonlinear (cubic) rotational spring. The results, found by using that model, turned out to be in very good compliance with the measurements. Even for a wide range of the value of the load, the results are good. The proposed nonlinear model and its parameters, can be viewed as the result of this thesis.

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	7
1 Einleitung .....	8
2 Grundlagenteil / Theorieteil .....	9
2.1 Walzprofilieren .....	9
2.2 Problemstellung .....	10
2.3 Stand der Technik .....	12
2.4 Mechanische Grundlagen .....	15
2.4.1 Flächenträgheitsmomente .....	15
2.4.2 Lineare Elastizitätstheorie.....	17
2.4.3 Balkentheorien.....	20
2.4.4 Variations- und Energieprinzipien .....	26
2.5 Die Methode der finiten Elemente .....	28
2.6 Verwendete Software .....	36
3 Zielsetzung der Arbeit .....	37
4 Durchführung der inhaltlichen Arbeit .....	38
4.1 Allgemeine Annahmen und Voraussetzungen .....	38
4.2 Messaufbau.....	39
4.3 Geometrie und Materialparameter der Welle .....	39
4.4 Lagerparameter der Wellenlagerung.....	41
4.5 Modellbildung der Welle .....	46
4.5.1 Analytische Modelle der ideal gelagerten Welle .....	46
4.5.2 Analytisches Modell der dreifach elastisch gelagerten Welle .....	48
4.5.3 Analytisches Modell der zweifach elastisch gelagerten Welle .....	49
4.5.4 Diskussion & Conclusio der analytischen Modelle.....	50
4.5.5 Numerisches Modell der zweifach elastisch gelagerten Welle .....	53
4.5.6 Parameteridentifikation (Federsteifigkeiten) am linearen Modell .....	55
4.5.7 Nichtlineares Modell der zweifach elastisch gelagerten Welle.....	64
4.5.8 Parameteridentifikation (Federsteifigkeiten) am nichtlinearen Modell....	67
5 Ergebnisse / Auswertung .....	71
6 Zusammenfassung und Ausblick .....	74

Literaturverzeichnis .....75  
Abbildungsverzeichnis.....77  
Tabellenverzeichnis.....80