

DISS. ETH Nr. 17470

**VIRTUELLE PLANUNG DER PROZESSROBUSTHEIT IN  
DER BLECHUMFORMUNG**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN

der

ETH ZÜRICH

vorgelegt von

KATHRIN GROSSENBACHER

Dipl. Betr.- u. Prod.-Ing. ETH

geboren am 28. September 1977

von Trachselwald BE

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. P. Hora, Referent

Prof. Dr.-Ing. K. Wegener, Korreferent

Dr.-Ing. J. Meinhardt, Korreferent

2008

# Kurzfassung

Der Produktionsprozess von Karosseriebauteilen mittels Blechumformung unterliegt einer Vielzahl von tolerierten Prozess- und Materialschwankungen, welche zu signifikanten Streuungen im Umformergebnis führen können. Liegt dabei die Bauteilqualität zumindest teilweise ausserhalb der Toleranzgrenzen der Abströckung, Grenzformänderung, Oberflächengüte oder Masshaltigkeit, entstehen häufig hohe Kosten im Produktionsprozess in Form von Ausschuss, Nacharbeits- oder Kontrollaufwänden. Es wird dabei von einem nicht robusten Prozess gesprochen.

Die Absicherung des Umformprozesses wird bereits seit vielen Jahren durch Finite-Element-Simulationen mit grosser Akzeptanz im industriellen Umfeld durchgeführt. Reale Systeme sind jedoch immer Schwankungen ihrer Prozessparameter unterworfen, die durch die so gewonnenen Simulationsergebnisse nicht beschrieben werden können.

In dieser Arbeit werden Methoden aufgezeigt, um die Robustheit eines Prozesses bereits in einer frühen Entwicklungsphase beurteilen und bewerten zu können. Dabei werden stochastische Simulationsmethoden in den bestehenden Engineering- und Planungsprozess integriert und geeignete Beurteilungsmöglichkeiten der Robustheit sowie die Visualisierung der Ergebnisse aufgezeigt und diskutiert.

Die Beherrschung des Serienprozesses wird schliesslich ermöglicht durch das verbesserte Verständnis des Umformprozesses, sowie der Möglichkeit einer erweiterten Prozessbeurteilung der untersuchten Bauteile. Im Weiteren ist eine Methode geschaffen worden, die die Grundlage für eine Simulationsvalidierung bietet. Es wird in dieser Arbeit an einem Beispiel aufgezeigt, wie sich unterschiedliche Materialmodellierungen desselben Werkstoffes auf Sensitivitäts- und Robustheitsaussagen auswirken.

# Abstract

The production process for car body parts using sheet metal forming is influenced by numerous process and material variations. Those can result in significant scatter of the part's quality. In most cases, the variations are in between predefined tolerance limits of thinning, forming limit, surface quality and dimensional accuracy. Otherwise rejected parts or additional efforts for testing the parts and reworking them are leading to higher production costs, which indicates a non robust process.

For many years the finite element method is used with great acceptance in automotive industry for simulation of sheet metal forming processes. As real systems are constantly influenced by varying process parameters, they can not fully be described by such a deterministic simulation method.

In the present contribution the methods to evaluate process robustness in an early development phase will be described. Thereby stochastic simulation methods are integrated in the existing engineering and planning process. Furthermore suitable possibilities to analyse robustness as well as the visualisation of the results are presented and discussed.

A controlled serial process can be achieved by an improved understanding of the sheet metal forming process as well as the possibility to analyse the part's quality. In addition a method will be presented, which is the basis for validating simulation results. A part of this work shows the important expertise of the influence of different material models on the resulting sensitivities and robustness.