

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Durchführung von stochastischen Simulationen  
zur Sensitivitätsanalyse und Robustheitsbewertung  
in der Blechumformung

VDI 3420  
Entwurf

Implementation of stochastic simulations for  
sensitivity analysis and robustness evaluation in  
sheet metal forming

*Einsprüche bis 2022-07-31*

- *vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchportal  
<http://www.vdi.de/3420>*
- *in Papierform an  
VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik  
Fachbereich Produktionstechnik und Fertigungsverfahren  
Postfach 10 11 39  
40002 Düsseldorf*

Inhalt	Seite
Vorbemerkung .....	2
Einleitung .....	2
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Begriffe</b> .....	<b>3</b>
<b>3 Vorgehen und Methoden der stochastischen Simulation</b> .....	<b>5</b>
3.1 Beschreibung der Methodik – Globale Sensitivitätsanalyse .....	5
3.2 Beschreibung der Methodik – Robustheitsbewertung .....	6
3.3 Theoretischer Hintergrund – Zufallsfelder .....	6
<b>4 Empfehlungen zur Vorgehensweise</b> .....	<b>7</b>
4.1 Aufbau der Basissimulation für eine Bauteil- oder Werkzeuggeometrie .....	7
4.2 Systematische Prozessverbesserung .....	7
4.3 Analyse der Prozessrobustheit .....	10
4.4 Nachweis der Prozess-/Bauteilqualität (Dokumentation) .....	12
Schrifttum .....	12

Zu beziehen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2022

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet

VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (GPL)  
Fachbereich Produktionstechnik und Fertigungsverfahren

**VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren, Band 1: Grundlagen und Planung**  
**VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren, Band 2: Fertigungsverfahren**

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Weitere aktuelle Informationen sind im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/3420](http://www.vdi.de/3420).

## Einleitung

Mithilfe der computergestützten Simulation können Blechformteile virtuell gefertigt werden. Die Kombination der Umformsimulation mit stochastischen Verfahren unterstützt die Beurteilung der Bauteilqualität und zeigt Optimierungspotenzial des Prozesses auf. Diese Technologie, eingesetzt in der frühen Entwurfsphase, ermöglicht die Reduktion des Umfangs kostenintensiver Praxisversuche und Änderungen an den realen Werkzeugen. Die wichtigsten Ziele sind dabei die Überprüfung der Herstellbarkeit der Blechformteile, die Gewinnung wichtiger Hinweise bezüglich der wesentlichen Einflussfaktoren für eine optimale Werkzeuggestaltung sowie Hinweise zur Robustheit des Prozesses im Hinblick auf die Qualität des werkzeugfallenden Fertigteils, z. B. hinsichtlich Blechdickenverteilung oder Faltenbildung im Blechformteil. Durch die Ermittlung des Einflusses der Entwurfs- und Prozessparameter auf relevante Kenngrößen können die wichtigsten Parameter für die Werkzeugoptimierung abgeleitet werden. Hierbei ergeben **Sensitivitätsstudien**, die mithilfe der **stochastischen Simulation** den **Designraum** erkunden, oft wesentliche Einblicke auch für eine anschließende **Optimierung** des Werkzeugs.

Umformprozesse unterliegen Streuungen (z. B. Blechdickentoleranzen und Schwankungen der Materialeigenschaften des eingesetzten Blechs, Parameter des Umformprozesses selbst, Verschleiß der Werkzeuge), die sich auf die Umformergebnisse nennenswert auswirken können. Ob der Umformprozess „robust“ ist und damit die Streuung der Umformergebnisse in tolerablen Maßen bleibt, ist ein entscheidendes Qualitätskriterium. Zur Prognose, ob Eingangsstreuungen von Prozessparametern zu signifikanten Streuungen der Umformergebnisse führen, werden in geeigneter Weise **statistische**

**Analysen** von Umformsimulationen eingesetzt. Diese Prognosemöglichkeiten können sowohl in der virtuellen Produktentwicklung als auch produktionsbegleitend eingesetzt werden. Dabei werden **Robustheitsbewertungen** auf wichtige **Ergebnisgrößen** durchgeführt. Wichtig ist es hierfür, eine möglichst realistische Annahme über die Eingangsstreuungen bezüglich des **Verteilungstyps**, **stochastischer Momente** und **Korrelationen** der Eingangsparameter zu treffen.

Robustheitsbewertungen basierend auf stochastischen Simulationen ermöglichen schon in der frühen Entwicklungsphase die Definition geeigneter Maßnahmen zur Sicherung der Prozess- und damit der Produktqualität. Die numerische Robustheitsbewertung gewinnt dabei im virtuellen Entwicklungsprozess, besonders im Hinblick auf die Verbesserung von Eigenschaften und zur Reduzierung von Produktionskosten, zunehmend an Bedeutung.

Bei der Umformsimulation ist oft auch die räumliche Verteilung streuender Ergebnisgrößen relevant. Solche räumlich verteilten Streuungen können mithilfe der Methodik der **Zufallsfelder** analysiert werden. Damit ist es sowohl möglich, statistische Eigenschaften, z. B. Streuungen von **Ergebnisgrößen** (wie Blechdicken, Eigenspannungen), auf der Struktur darzustellen, als auch durch statistische Zusammenhangsanalysen Hinweise zu erhalten, welche **Eingangsgrößen** die Streuungen der Ergebnisgrößen in bestimmten Bereichen des Bauteils verursachen. Weiteres zur Definition von Zufallsfeldern siehe in Abschnitt 3.3.

Diese Richtlinie soll einen Leitfaden für die Einführung und Durchführung der stochastischen Simulation in der Blechumformung darstellen, in dem allgemeine Vorgehensweisen, wie der Einsatz von Sensitivitätsstudien, beschrieben und die dabei verwendeten Begriffe erklärt und auch die dabei angewandte Systematik, die Auswertungen und möglichen Interpretationen dargestellt werden.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie bietet einen Leitfaden bei der Einführung und Durchführung der stochastischen Simulation in der Blechumformung. Im Fokus stehen dabei die Methodenplaner und -planerinnen, die einen zu entwickelnden Prozess zunächst so weit optimieren müssen, dass kein Versagen (z. B. Reißen, Falten) auftritt. Dazu müssen sie wissen, welche Input- oder Prozessparameter (Radien, Ziehsickenhöhen, Niederhalter- bzw. Blechhalterkräfte usw.) den größten Einfluss auf das Ergebnis haben. Hier kommt die **Sensitivitätsanalyse** zum Einsatz.

Wurde der Umformprozess hinsichtlich der Herstellbarkeit erfolgreich optimiert (Gutteilfenster wird für den simulierten Einzelfall erreicht), müssen die Methodenplanungsfachkräfte ermitteln, ob der Umformprozess robust gegen die in der Serienfertigung zu erwartenden Streuungen von Blechdicken, Streckgrenzen usw. ist. Hierfür kann die **Robustheitsanalyse** verwendet werden.

Beide oben genannten Analysen und Ihre Zielsetzungen bei der Anwendung werden im Abschnitt 3 detaillierter dargestellt.

Kern dieser Richtlinie ist Abschnitt 4, das konkrete Anwendungsempfehlungen zur Vorgehensweise enthält. Abschnitt 2 enthält Begriffsdefinitionen und Abschnitt 3 enthält theoretische Hintergründe, die zum tieferen Verständnis erforderlich sein können.