

Impressum

## **Methodik zur Prozessauslegung anforderungsgerecht gestalteter Strukturbauteile im Automobilbau**

**Autor:**

Anja Rautenstrauch

**Herausgeber:**

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. mult. Dr. h. c. mult.  
Reimund Neugebauer

Prof. Dr.-Ing.  
Dirk Landgrebe

**Wichtiger Hinweis:**

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2017

**Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU**

Reichenhainer Str. 88, 09126 Chemnitz

[www.iwu.fraunhofer.de](http://www.iwu.fraunhofer.de)

**Verlag Wissenschaftliche Scripten**

[www.verlag-wiss-scripten.de](http://www.verlag-wiss-scripten.de)

ISBN: 978-3-95735-059-6

## **Inhaltsverzeichnis**

Formelzeichen- und Abkürzungszeichen .....	XI
Abbildungsverzeichnis .....	XVII
Tabellenverzeichnis .....	XXI
1 Einleitung .....	23
2 Stand der Technik .....	25
2.1 Methoden für systematische Entwicklungs- und Entscheidungsprozesse .....	25
2.1.1 Grundlagen .....	25
2.1.2 Problemlösungszyklus .....	27
2.1.3 Vorgehensweise beim Entwickeln und Konstruieren .....	29
2.1.4 Vorgehensweisen für die Werkstoffauswahl .....	32
2.1.5 Produkt- und Prozessentwicklungsprozesse .....	36
2.2 Anforderungen an Personenkraftfahrzeuge .....	38
2.2.1 Fahrzeugsicherheit .....	38
2.2.2 Leichtbaustrategien .....	41
2.3 Fertigungsleichtbau .....	43
2.3.1 Wärmebehandlung .....	43
2.3.2 Thermomechanische Behandlung .....	44
2.3.3 Bauteile mit lokal unterschiedlichen Eigenschaften .....	53
2.4 Werkstoffleichtbau .....	59
2.4.1 Höchsthafte Stahlwerkstoffe .....	59
2.4.2 Einfluss der Legierungselemente .....	62
2.5 Zusammenfassende Bewertung .....	65
3 Fokus und Zielsetzung der Arbeit .....	67
4 Methodik zur Prozessauslegung anforderungsgerecht gestalteter Strukturbauteile .....	71
4.1 Anforderungsanalyse .....	73
4.1.1 Übertragung der Bauteilanforderungen in Werkstoffanforderungen ..	73

4.1.2	Erstellung eines Anforderungsprofils.....	74
4.2	Werkstoffsuche .....	76
4.3	Auswahl des geeigneten Umformprozesses.....	79
4.4	Charakterisierung der Werkstoffeigenschaften .....	81
4.4.1	Werkstoffcharakterisierung nach der Blechkaltumformung .....	81
4.4.2	Werkstoffcharakterisierung nach einer thermomechanischen Behandlung .....	84
4.4.3	Werkstoffcharakterisierung nach einer unterschiedlichen thermomechanischen Behandlungen.....	90
4.4.4	Parametereinflussanalyse .....	91
4.5	Ermittlung des Formänderungsvermögens .....	92
4.5.1	Ermittlung der Prozessparameter der Blechkaltumformung .....	92
4.5.2	Ermittlung der Prozessparameter der thermomechanischen Behandlung .....	95
4.5.3	Parametereinflussanalyse .....	97
4.6	Prozesskonfiguration und -anpassung.....	97
4.6.1	Statistische Versuchsplanung .....	97
4.6.2	Sensitivitätsanalyse.....	99
4.7	Entscheidungsvorschlag zur Prozessgestaltung.....	105
4.7.1	Soll-Ist-Vergleich .....	106
4.7.2	Erarbeitung des Prozessfensters .....	106
4.7.3	Entscheidungsvorschlag .....	108
5	Ermittlung des Prozessfensters zur Herstellung eines Strukturbauteils mit partiell unterschiedlichen Eigenschaftszonen unter Anwendung der erarbeiteten Methodik .....	109
5.1	Definition der Anforderungen an das Strukturbauteil .....	110
5.2	Werkstoffselektion .....	112
5.3	Auswahl des Umformprozesses .....	114
5.4	Thermische und thermomechanische Werkstoff-charakterisierung .....	115
5.4.1	Chemische Zusammensetzung.....	116
5.4.2	Umwandlungstemperaturen .....	116
5.4.3	Zeit-Temperatur-Schaubilder .....	118

---

5.4.4	Mechanische Werkstoffeigenschaften in Abhängigkeit der Abkühlrate .....	124
5.4.5	Mechanische Werkstoffeigenschaften in Abhängigkeit von der Abkühlrate und dem Umformgrad .....	128
5.4.6	Mechanische Werkstoffeigenschaften durch partiell unterschiedliche thermo-mechanische Behandlung .....	131
5.4.7	Parametereinflussanalyse .....	137
5.5	Ermittlung des Formänderungsvermögens .....	140
5.5.1	Warmfließkurven .....	142
5.5.2	Grenzziehverhältnis .....	146
5.5.3	Erichsen-Tiefungswert .....	148
5.5.4	Rückfederung .....	150
5.5.5	Parametereinflussanalyse .....	151
5.6	Prozessentwicklung und -validierung .....	154
5.6.1	Statistische Versuchsplanung .....	156
5.6.2	Sensitivitätsanalyse mit der FE-Simulation .....	159
5.6.3	Sensitivitätsanalyse durch experimentelle Untersuchungen .....	169
5.7	Entscheidungsvorschlag .....	174
5.7.1	Auswertung .....	174
5.7.2	Ergebnisdokumentation und Prozessfenster .....	176
5.7.3	Entscheidungsvorlage .....	178
5.8	Zusammenfassung .....	180
6	Zusammenfassende Bewertung und Ausblick .....	183
7	Literaturverzeichnis .....	187
Anlagen	.....	199