

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis verwendeter Symbole	VII
1. Einleitung	1
2. Stand der Technik	3
2.1. Blechumformung	3
2.1.1. Blechumformen mit konventionellen Geschwindigkeiten	3
2.1.2. Blechumformen mit hohen Geschwindigkeiten	6
2.2. Materialbearbeitung mit laserinduzierten Schockwellen	12
2.3. Erzeugung laserinduzierter Schockwellen	14
2.4. Einflussgrößen auf den induzierten Druckstoß	15
2.5. Einfluss der Ausbreitungsgeschwindigkeit der laserinduzierten Schockwelle auf die Materialeigenschaften	17
2.6. Einfluss der Umformgeschwindigkeit auf das Werkstoffverhalten im Umformprozess	18
3. Zielsetzung	20
4. Versuchseinrichtungen und Werkstoffe	21
4.1. Versuchseinrichtung zur Schockwelleninduzierung und Umformung	21
4.1.1. TEA-CO ₂ -Laser	21
4.1.2. Werkzeuge	22
4.1.3. Mikropositioniersystem	29
4.2. Streckzieheinheit mit Linearantrieb	30
4.3. Messsysteme	31
4.3.1. Messung der Werkstückgeschwindigkeit	31
4.3.2. Messsysteme zur Verformungsmessung	33
4.3.3. System zur Druckstoßmessung	35
4.3.4. System zur Bestimmung der effektiven Energie	47
4.4. Werkstoffe und Probengeometrien	48
4.5. Methoden zur Probencharakterisierung	50
5. Experimentelle Charakterisierung	51
5.1. Einflussparameter auf den induzierten wirksamen Druck	51
5.1.1. Einfluss der Prozessparameter	51
5.1.2. Einfluss der Niederhaltergeometrie	55
5.2. Dehnrate, Werkstückgeschwindigkeit und Rückbiegeverhalten	58
5.2.1. Dehnrate	58

5.2.2.	Einfluss des Materials auf die Werkstückgeschwindigkeit	59
5.2.3.	Einfluss der Pulsenergie auf die Werkstückgeschwindigkeit	60
5.2.4.	Rückfederung	61
5.3.	Streckziehen	62
5.3.1.	Umformbarkeit unterschiedlicher Materialien	62
5.3.2.	Grenzformänderung	65
5.3.3.	Formänderung durch einzelne Laserpulse bei der freien Umformung	65
5.3.4.	Reproduzierbarkeit	66
5.4.	Tiefziehen	67
5.4.1.	Effekt des einseitigen Einzugs bei freier und formgebundener Umformung	67
5.4.2.	Positioniergenauigkeit für die freie Umformung	72
5.4.3.	Positioniergenauigkeit für die gebundene Umformung	72
5.4.4.	Einfluss des Ziehringradius auf das Prozessfenster	73
5.4.5.	Einfluss der Formgebung auf das Prozessfenster	76
5.4.6.	Einfluss des Schmierstoffs	77
6.	Analytisches Modell der Werkstückgeschwindigkeit für das freie Biegen	78
6.1.	Modellentwicklung	78
6.2.	Modellvalidierung	84
6.3.	Effekt der Modellparameter	85
7.	Eigenschaften der laserschockumgeformten Bauteile	88
7.1.	Werkstückdickenverlauf	88
7.2.	Gefüge	89
7.3.	Oberfläche	89
7.4.	Härte	91
8.	Einfluss von Werkstoff und Foliendicke auf den Biegeprozess	93
9.	Einordnung des Laserschockumformens anhand der Prozesscharakteristika	98
10.	Zusammenfassung	105
	Literaturverzeichnis	107
	Anhang	117