

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung und Vorgehensweise</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>9</b>
3.1	Eigenschaften von gepulster Laserstrahlung	9
3.1.1	Pulsabstand und Pulsüberlapp	10
3.2	Laserbohrverfahren	11
3.2.1	Technisches Prinzip des Wendelbohrverfahrens	12
3.2.2	Lagerung und Bewegungsfreiheitsgrade des Dove-Prismas	18
3.2.3	Technische Umsetzung des Wendelbohrverfahrens	20
3.3	Qualitätsmanagement	21
3.3.1	Prozessstabilität	23
3.3.2	Prozessfähigkeit	23
3.3.3	Messungen von Prozessparametern im Variablenvergleich	26
3.4	Statistische Versuchsplanung & Auswertung	29
3.5	Taguchi Methodik	32
3.6	Elastische Federmechanismen	36
3.6.1	Mechanisches Verhalten von Kunststoffen	36
3.6.2	Polyoxymethylen	36
3.6.3	Federn	38
3.6.4	Tellerfedern	39
<b>4</b>	<b>Experimentelle Grundlagen</b>	<b>43</b>
4.1	Methode zur Ermittlung der Bohrgeometrie	43
4.2	Verwendete Laserstrahlquelle	44
4.3	Verwendete Systemtechnik	45
4.4	Zeitversuchsaufbau und Definition der Umgebungszustandsparameter	48
4.5	Definition des Parameterraums für die experimentellen Untersuchungen	50
<b>5</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>53</b>
5.1.1	Festlegung der Basisparameter	53
5.1.2	Leistungsmessung der Laserstrahlquelle und Leistungsverlust durch die Optik	57
5.1.3	Prozessfähigkeit des Referenzprozesses	59
5.2	Vollfaktorielle Untersuchung der Prozessparameter	62

5.2.1	Variation der Laserstrahlleistung	64
5.2.2	Variation der Prozessdauer	67
5.2.3	Variation der Fokusbildung	70
5.2.4	Variation der Lineartischposition	72
5.2.5	Variation der Keilplattenposition	74
5.2.6	Variation des Prozessgasdrucks	75
5.3	Modell zum Einfluss der Prozessparameter	78
5.4	Erwartungsmodell der potentiell zu fixierenden Einstellparameter	88
5.5	Teilfaktorielle Untersuchungen	90
5.5.1	Orthogonaler Versuchsplan	91
5.5.2	Robustheitsanalyse nach Taguchi	94
5.5.3	Signifikanzanalyse - ANOVA	100
5.6	Validierung der Prozessoptimierung	105
5.7	Fazit	112
<b>6</b>	<b>Konstruktive Modifikation zur Robustheitssteigerung</b>	<b>115</b>
6.1	Benötigte Freiheitsgrade und erforderlicher Verstellweg	115
6.2	Auslegung und Konstruktion	116
6.2.1	Wahl der Federelemente	116
6.2.2	Lagerung der Federelemente	122
6.3	Validierungsversuche	124
6.3.1	Versuchsaufbau	124
6.3.2	Versuchsdurchführung	125
6.4	Validierung der Systemoptimierung	128
6.5	Fazit	129
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>131</b>
7.1	Handlungsempfehlung für das Laserstrahlwendelbohren von Maschinenstählen	131
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>133</b>
8.1	Zusammenfassung	133
8.2	Ausblick	135
<b>9</b>	<b>Laserstrahlwendelbohren mit gepulster Laserstrahlung in der industriellen Anwendung</b>	<b>137</b>
<b>10</b>	<b>Quellen u. Literaturverzeichnis</b>	<b>141</b>
<b>11</b>	<b>Anhang</b>	<b>147</b>
11.1	3D Modell der Wendelbohroptik im modularen Design	147

11.2	Bildrotator Dove-Prisma	148
11.3	Einstellbare Wellenformen der Laserstrahlquelle SPI G4 red Energy	153
11.4	Prozessfähigkeitsumrechnungstabelle	154
11.5	Vollständiger Versuchsplan für die Taguchi Robustheitsanalyse	155
11.6	Berechnung der Wuchtung der Dove-Hülse für den Einsatz mit Kunststofftellerfederpaketen	156
11.6.1	Konstruktion der Dove-Hülse	158
11.7	Technische Zeichnungen	160