

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Stand der Technik	3
2.1. Regelung von Produktionssystemen	3
2.1.1. Flexible, kontrollierte Führung von Bauteileigenschaften . . .	4
2.1.2. Der Weg zur hochautomatisierten Produktion	7
2.2. Regelung der Stößelfreiheitsgrade von Pressen	10
2.2.1. Klassifizierung von Servopressen	12
2.2.2. Mehrpunkt-Servopressen	14
2.2.3. Steuerung und Regelung von Pressen	15
2.2.4. Ermittlung und Führung der Werkzeugbahn von Robotern . .	19
2.2.5. Methoden zur Regelung in kinematischen Singularitäten . .	22
2.2.6. Bewertungskriterien	26
2.3. Maschinenmodelle	28
2.3.1. Definition und Einordnung von Modellen	28
2.3.2. Dynamische Pressen- und Getriebemodelle	30
2.3.3. Modellierung mit maschinellern Lernen	33
2.4. Fazit	38
3. Zielsetzung und Vorgehensweise	39
3.1. Zielsetzung	39
3.2. Vorgehensweise	41
4. Beschreibung der Versuchsstände	45
4.1. Prototyp und Forschungsversion der 3D-Servo-Pressen	45

4.2. Kinematische Modelle	47
4.2.1. Stoßelkinematik	49
4.2.2. Exzenterkinematik	53
4.2.3. Spindelkinematik	57
4.2.4. Zusammenfassung	59
5. Erfassung der Stoßellage	61
5.1. Sensorplatzierung	61
5.1.1. Positionserfassung	61
5.1.2. Prozesskraft	64
5.2. Steigerung der Genauigkeit durch elastische Pressenmodelle	68
5.2.1. Modellierung nichtlinear elastischer Getriebe	69
5.2.2. Validierung eines Stoßelbeobachters	75
5.2.3. Automatisierte Kalibrierung eines hybriden Beobachtermodells	81
5.3. Fazit	84
6. Antriebsregelung	85
6.1. Modellierung der Maschinendynamik	87
6.2. Ableitung einer Antriebsregelung aus dem Maschinenmodell	94
6.2.1. Linearisiertes Modell des geschlossenen Regelkreises	95
6.2.2. Stabilitätsbereich der Reglerparameter	98
6.2.3. Validierung und Optimierung	100
6.3. Fazit	105
7. Regelung von Pressengetrieben mit kinematischen Totpunkten	107
7.1. Ableitung von Performanzkriterien für modellbasierte Analyse	107
7.1.1. Fortpflanzung von Ruck im Antriebsstrang	108
7.1.2. Einbeziehung von Unsicherheit	112
7.2. Modellbasierte Analyse regelungstechnischer Methoden	113
7.2.1. Totpunktstabilität inverser Kinematikregelungen	114
7.2.2. Numerische Untersuchung nichtlinearer Regelungsansätze	123
7.3. Fazit	137
8. Regelung mehrdimensionaler Stoßelbewegungen	139
8.1. Entkopplung der Stoßelfreiheitsgrade	139

8.2. Automatisierung des Stößelarbeitsraums	144
8.3. Experimentelle Untersuchungen unter Prozessbedingungen	151
8.3.1. Exzentrischer Lastsprung	152
8.3.2. Single Point Incremental Forming	155
8.4. Modellkalibrierung durch Lernen	157
9. Zusammenfassung	169
Literaturverzeichnis	173
A. Modellierung und Skalierung des kinetischen Modells	197
B. Geometrische Konstruktion der Lage des Stößel-TCP	199
C. Einfluss der Abtastzeit des Steuerungssystems auf die Stabilität der Regelung	203
D. Symbole und Abkürzungen	205