

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>0</b>	<b>Abkürzungen und Formelzeichen</b>	<b>13</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>17</b>
1.1	Problemstellung	17
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	18
<b>2</b>	<b>Ausgangssituation</b>	<b>19</b>
2.1	Begriffe und Definitionen	19
2.2	Stand der Technik	22
2.2.1	Relaisjustage	22
2.2.2	Biegejustage	23
2.2.3	Regelsysteme für multifunktional verflochtene Justagekreise	24
<b>3</b>	<b>Analyse und Ableitung von Anforderungen</b>	<b>25</b>
3.1	Analyse des Produktspektrums	25
3.2	Analyse der Justage von Balanced-Force-Relais	26
3.2.1	Analyse des manuellen Justageablaufes	29
3.2.2	Analyse der Sensorikfunktionen	31
3.2.2.1	Messen elektrischer Parameter	31
3.2.2.2	Messen der Kontaktkräfte	31
3.2.2.3	Messen der Kontaktabstände	33
3.2.3	Analyse der Aktorikfunktionen	34
3.2.3.1	Justage der Magnetfelder von Permanentmagneten	34
3.2.3.2	Justage von Bauteilpositionen durch plastische Verformungen	35
3.3	Folgerungen aus den Analyseergebnissen	37

<b>3.4</b>	<b>Anforderungen an automatisierte Justagesysteme für Balanced-Force-Relais</b>	<b>38</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Gesamtsystem</b>	<b>38</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Steuerungssystem zur Justage</b>	<b>39</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Messen der Kontaktkräfte</b>	<b>39</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Messen der Kontaktabstände</b>	<b>40</b>
<b>3.4.5</b>	<b>System zur Justage von Bauteilpositionen durch plastische Verformungen</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>Konzeption eines Gesamtsystems für die automatische Justage von Balanced-Force-Relais</b>	<b>42</b>
<b>4.1</b>	Konzeption eines Steuerungssystems zur multifunktional verflochtenen Justage	43
<b>4.2</b>	Messen von Kontaktabständen	44
<b>4.3</b>	Messen von Kontaktkräften	46
<b>4.4</b>	Verändern von Bauteilpositionen durch Biegejustieren	47
<b>4.4.1</b>	Untersuchungen zur Genauigkeit der Konzepte zum Biegejustieren	51
<b>4.4.1.1</b>	Analytische Beschreibung der Biegejustage am Biegebalken	51
<b>4.4.1.2</b>	Untersuchung des Biegejustageprozesses mit Hilfe der FEM- Methode	54
<b>4.4.1.3</b>	Bewertung der konzipierten Verfahren zum Biegejustieren	59
<b>5</b>	<b>Entwicklungen zum Verfahren des fließkurvengeregelten Biegejustierens</b>	<b>61</b>
<b>5.1</b>	Genauigkeitsbeeinträchtigende Faktoren für das fließ- kurvengeregelte Biegejustieren und Möglichkeiten zu deren Berücksichtigung	61
<b>5.1.1</b>	Kinematikbedingte Faktoren	62
<b>5.1.1.1</b>	Winkeländerungen	62
<b>5.1.1.2</b>	Reibung an den Kontaktstellen	63
<b>5.1.2</b>	Werkstoffmechanikbedingte Faktoren	

5.1.2.1	<b>Bauschinger-Effekt</b>	65
5.1.2.2	<b>Dämpfung durch innere Reibung</b>	67
5.1.2.3	<b>Vorverformungsbewirkte Anelastizität</b>	68
5.1.3	<b>Aktorbedingte Faktoren</b>	69
5.1.3.1	<b>Statische Nachgiebigkeiten und Spiele des Aktors</b>	69
5.1.3.2	<b>Dynamische Eigenschaften des Aktors</b>	70
5.1.3.3	<b>Meßgenauigkeit der Sensoren</b>	73
5.1.3.4	<b>Geschwindigkeit des Regelprozesses</b>	73
5.1.4	<b>Gesamtheitliche Fehlerquellenberücksichtigung</b>	73
5.1.5	<b>Steigerung der Biegegenauigkeit durch dedizierte Entlastungssteifigkeit</b>	74
5.2	<b>Positionsübergreifende Direktjustage</b>	75
<b>6</b>	<b>Entwicklung eines Justagesteuerungsverfahrens auf der Basis von Fuzzy-Logik</b>	<b>78</b>
6.1	<b>Struktur des Steuerungssystems</b>	78
6.2	<b>Einrichtung und Abarbeitung des Fuzzy-Systems</b>	79
6.3	<b>Entwicklung von Verfahren zur Adaption des Fuzzy-Reglers auf schwankendes Bauteilverhalten</b>	81
6.3.1	<b>Skalenadaption</b>	81
6.3.2	<b>Plausibilitäts- und Termadaption</b>	83
6.3.3	<b>Einsatzgebiete der entwickelten Adoptionsverfahren</b>	84
<b>7</b>	<b>Versuchsaufbau und Versuchsergebnisse</b>	<b>86</b>
7.1	<b>Mechanischer Aufbau</b>	86
7.2	<b>System zum Biegejustieren und zur Kontaktkraftmessung</b>	88
7.2.1	<b>System zum Messen der Kontaktabstände</b>	90
7.3	<b>Steuerung</b>	91
7.4	<b>Justageablauf</b>	92
7.5	<b>Versuche zum fließkurvengeregelten Biegejustieren</b>	94
7.5.1	<b>Verringerung der winkelbedingten Fehler</b>	94

7.5.2	Verringerung der reibungsbedingten Fehler	95
7.5.3	Verringerung der Fehler durch werkstoffmechanische Dämpfung	96
7.5.4	Verringerung der Fehler durch die durch Vorverformung bewirkte Anelastizität	98
7.5.5	Verringerung der Fehler durch statische Nachgiebigkeiten und Spiele des Aktors	99
7.5.6	Bewertung der Ergebnisse mit dedizierter Entlastungssteifigkeit	100
7.5.7	Bewertung der Ergebnisse der positionsübergreifenden Direktjustage	101
7.6	Versuche mit der Steuerung auf der Basis von Fuzzy-Logik	102
7.6.1	Vergleich mit den Ergebnissen einer Steuerung ohne Fuzzy-Logik	102
7.6.2	Ergebnisse mit den entwickelten Adoptionsverfahren	103
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>106</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>108</b>