

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ziele und Aufbau der Arbeit.....	1
1.2 Mechatronische Systeme im Automobil.....	4
1.3 Fahrerassistenzsysteme: Intelligente mechatronische Fahrerunterstützung .....	8
1.4 Zukunftstrends in der Automotive Industrie .....	10
1.5 Zusammenfassung zu Kapitel 1.....	12
<b>2 Stand der Technik .....</b>	<b>13</b>
2.1 Formgedächtnislegierungen: Grundlagen der Phasentransformation.....	13
2.2 Für Aktorsysteme nutzbare Formgedächtniseffekte.....	15
2.2.1 Der extrinsische Zweiwegeeffekt (EZWE) .....	15
2.2.2 Der pseudoelastische Effekt (PE) .....	16
2.3 Andere Formgedächtniseffekte: .....	17
2.3.1 Der Einwegeeffekt (EWE) .....	18
2.3.2 Der intrinsische Zweiwegeeffekt (IZWE) .....	19
2.4 Legierungstypen .....	19
2.4.1 Binäre Nickel-Titanlegierungen .....	19
2.4.2 Ternäre und Quaternäre Nickel-Titanlegierungen.....	20
2.4.3 Kupfer-Basislegierungen .....	21
2.5 Formgedächtnisaktorik – Funktionseigenschaften .....	22
2.6 Ermüdung von Formgedächtnisaktoren.....	25
2.7 Widerstandsverhalten von Formgedächtnisaktoren.....	28
2.8 Formgedächtnisaktoren in der Automobiltechnik .....	30
2.9 Zusammenfassung zu Kapitel 2.....	38
<b>3 Motivation und Lösungsansätze.....</b>	<b>39</b>
3.1 Motivation für adaptive und adaptronische Optimierungen von FGL-Systemen .....	39
3.2 Lösungsansätze für die Problemstellungen beim Einsatz von Formgedächtnisaktoren im Automobil.....	47
3.2.1 Lösungsansätze zur Lebensdaueroptimierung und dynamisch variierendem Verhalten: .....	47
3.2.2 Lösungsansätze zum Entwicklungsaufwand .....	50
3.3 Zusammenfassung zu Kapitel 3.....	51
<b>4 Experimentelle Untersuchungen adaptiver Optimierungen .....</b>	<b>53</b>
4.1 Konzeptionelle Vorbetrachtungen.....	53
4.1.1 Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen .....	54
4.1.2 Permanente Erhöhung der Vorspannungen .....	55
4.1.3 Adaptive Anpassung der mechanischen Vorspannung.....	55

4.2 Experimentelle Ausstattung.....	58
4.3 Voruntersuchungen I – Zugversuche pseudoelastischer Proben .....	59
4.3.1 Einfluss der Zuggeschwindigkeiten auf pseudoelastische Spannungskurven .....	59
4.3.2 Einfluss der Wärmebehandlungen auf pseudoelastische Spannungsplateaus .....	61
4.3.3 Änderung der Spannungsplateaus mit Variation der Prüftemperatur .....	62
4.4 Vorversuche II – Dynamische Aktorversuche.....	65
4.5 Versuche zur adaptiven Systemoptimierung .....	67
4.5.1 Variante A – Versuchsergebnisse und Diskussion .....	68
4.5.2 Variante B – Versuchsergebnisse und Diskussion .....	71
4.5.3 Variante C – Versuchsergebnisse und Diskussion .....	74
4.6 Lebensdauerbetrachtungen der Lösungsvarianten.....	77
4.7 Zusammenfassung zu Kapitel 4 .....	78
<b>5 Experimentelle Untersuchungen adaptronischer Optimierungen.....</b>	<b>79</b>
5.1 Konzeptionelle Vorbetrachtungen.....	79
5.1.1 Condition Monitoring .....	80
5.1.2 Elektronische Kompensation von Umgebungseinflüssen .....	80
5.1.3 Widerstandsbasierte Positionsregelung von Formgedächtnisaktoren .....	81
5.1.4 Materialregeneration durch Glühprozesse .....	82
5.2 Experimentelle Ausstattung.....	83
5.3 Voruntersuchung I - elektrische Widerstandscharakteristik des EZWE .....	83
5.4 Voruntersuchung II - elektrische Widerstandscharakteristik der Pseudoelastizität .....	85
5.5 Versuche zur adaptronischen Systemoptimierung .....	86
5.5.1 Versuche zum Condition Monitoring .....	86
5.5.2 Widerstandsbasierte Kompensation vom Umgebungseinflüssen .....	88
5.5.3 Änderung pseudoelastischer Eigenschaften durch adaptronische Systeme .....	91
5.5.4 Materialregeneration durch Glühprozesse .....	92
5.6 Zusammenfassung zu Kapitel 5.....	95
<b>6 Numerische Auslegung optimierter Formgedächtnissysteme .....</b>	<b>96</b>
6.1 Numerisches Simulationsmodell .....	96
6.2 Implementierung adaptiver Rückstellungen .....	99
6.3 Implementierung adaptronischer Elemente .....	103
6.4 Zusammenfassung zu Kapitel 6.....	104
<b>7 Beispiel: Haptisches-Informationssystem auf FGL-Basis .....</b>	<b>105</b>
7.1 Haptik, die taktile menschliche Wahrnehmung.....	105
7.2 Haptische Displays .....	107
7.3 Das Lenkrad mit optimierten haptischen FGL-Komponenten .....	107
7.3.1 Stufe 1: Definition von Konzeptmerkmalen .....	108
7.3.2 Stufe 2: Definition des funktionalen Designs .....	109

---

7.3.3 Stufe 3 und 4: Konstruktive und produktionstechnische Optionen .....	112
7.3.4 Stufe 5 und 6 : Adaptronische Optionen (Hard- und Software) .....	113
7.4 Einsatzpotentiale des entwickelten Demonstrationssystems.....	114
7.5 Zusammenfassung zu Kapitel 7.....	115
<b>8 Rekapitulation der Ergebnisse und Ausblick .....</b>	<b>116</b>
8.1 Vergleich der Ergebnisse zum Stand der Technik.....	116
8.2 Beurteilung der Anwendung neuer Funktionalitäten.....	117
8.2.1 Neue Funktionalitäten von Formgedächtnissystemen .....	117
8.2.2 Neue Funktionalitäten im Automobil .....	118
8.3 Ausblick.....	119
8.3.1 Adaptive und Adaptronische Systeme.....	119
8.3.2 Haptisches Display im Automobil.....	119
<b>9 Quellenverzeichnis.....</b>	<b>120</b>
<b>10 Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>125</b>
<b>11 Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>128</b>
<b>12 Anhang.....</b>	<b>129</b>
<b>13 Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme.....</b>	<b>131</b>
<b>14 Lebenslauf .....</b>	<b>138</b>