

1	Einleitung	1
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
2	Stand der Technik	13
2.1	Formgedächtnislegierungen: Grundlagen der Phasentransformation.....	13
2.2	Für Aktorsysteme nutzbare Formgedächtniseffekte.....	15
2.2.1	Der extrinsische Zweivegeffekt (EZWE)	15
2.2.2	Der pseudoelastische Effekt (PE)	16
2.3	Andere Formgedächtniseffekte:	17
2.3.1	Der Einvegeffekt (EWE)	18
2.3.2	Der intrinsische Zweivegeffekt (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
3	Motivation und Lösungsansätze.....	39
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
4	Experimentelle Untersuchungen adaptiver Optimierungen	53
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
5 Experimentelle Untersuchungen adaptronischer Optimierungen.....	79
5.1 Konzeptionelle Vorbetrachtungen.....	79
5.1.1 Condition Monitoring.....	80
5.1.2 Elektronische Kompensation von Umgebungseinflüssen	80
5.1.3 Widerstands-basierte 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 Widerstands-basierte 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
6 Numerische Auslegung optimierter Formgedächtnissysteme	96
6.1 Numerisches Simulationsmodell	96
6.2 Implementierung adaptiver Rückstellungen	99
6.3 Implementierung adaptronischer Elemente	103
6.4 Zusammenfassung zu Kapitel 6.....	104
7 Beispiel: Haptisches-Informationssystem auf FGL-Basis	105
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
8	Rekapitulation der Ergebnisse und Ausblick	116
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
9	Quellenverzeichnis.....	120
10	Abbildungsverzeichnis	125
11	Tabellenverzeichnis	128
12	Anhang.....	129
13	Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme.....	131
14	Lebenslauf	138