

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Fragestellung und Motivation	1
1.2	Ziel und Struktur des Buches	2
2	Grundlagen der Formgedächtnistechnik	3
2.1	Werkstoffwissenschaftliche Grundlagen	3
2.2	Formgedächtniseffekte	5
2.2.1	Einwegeffekt (EWE)	5
2.2.2	Zweiwegeffekt (ZWE)	6
2.2.3	Pseudoelastizität	7
2.3	Legierungstypen	8
2.3.1	Einfluss des Nickelgehaltes bei einer binären NiTi-Legierung	9
2.3.2	Einfluss ternärer Elemente bei einer NiTi-Legierung	10
2.4	Fertigung von Formgedächtnisbauteilen	11
2.4.1	Verfahren zur Beschichtung	11
2.4.2	Verfahren zur Umformung	12
2.4.3	Verfahren zur Strukturierung	13
2.4.4	Verfahren zur Urformung	15
2.5	Einfluss der Wärmebehandlung	17
2.5.1	Signifikanz der Wärmebehandlung verdeutlicht an Versuchsergebnissen	17
2.6	Leistungsfähigkeit und Temperaturstandfestigkeit	26
2.6.1	Lastabhängigkeit des FG-Effektes	27
2.6.2	Temperaturabhängigkeit des FG-Effektes	28
3	Potentiale der Formgedächtnistechnik	30
3.1	Aktorelemente	31
3.1.1	Chancen und Risiken	32
3.1.2	Anwendungspotentiale	34
3.2	Feder-/Dämpfungselemente	35
3.2.1	Chancen und Risiken	36
3.2.2	Anwendungspotentiale	37
3.3	Sensorelemente	38
3.3.1	Chancen und Risiken	38
3.3.2	Anwendungspotentiale	39
4	Sichtweisen von Formgedächtnisaktoren	40
4.1	Mechatronische Sichtweise	40
4.1.1	Grundlagen	40
4.1.2	Wegfall der Sensorik und Informationsverarbeitung	41
4.1.3	Wegfall der Informationsverarbeitung	43
4.1.4	Wegfall der Sensorik	43

4.2	Funktionale Sichtweise	44
4.3	Sichtweise als smarte Strukturen	47
5	Systemintegration von Formgedächtnisaktoren.....	49
5.1	Aktorbauformen.....	49
5.2	Rückstellprinzipien	51
5.3	Grundlegende Bauweise	52
5.4	Erwärmungsprinzipien	52
5.5	Verbindungstechnik	55
5.5.1	Auswahl der Verbindungstechnik	56
5.5.2	Crimpverbindungen	57
5.5.3	Kunststoffintegration	62
5.5.4	Vergleich verschiedener Verbindungstechniken	66
5.6	Elektrische Kontaktierung.....	67
6	Besondere Bauweisen von Formgedächtnisaktoren.....	68
6.1	Dünnschichtverbund-Bauweise	68
6.1.1	Grundlagen.....	68
6.1.2	Konzeption der Formgedächtniselemente	70
6.1.3	Entwurf der Formgedächtniselemente	70
6.1.4	Herstellung der Schichtverbundelemente.....	71
6.1.5	Messwerte und Funktionsweise der Aktorelemente.....	72
6.1.6	Anwendungs- und Herstellungskonzepte.....	73
6.2	Agonist-Antagonist-Bauweise	74
6.2.1	Grundlagen.....	74
6.2.2	Versuche zur Charakterisierung der Agonist-Antagonist-Bauweise.....	75
6.2.3	Versuche an einem Demonstrator	79
6.3	Partiell aktivierte Bauweise	80
6.4	Beispiele spezieller Aktorbauweisen	83
6.4.1	Multiaktorsystem	83
6.4.2	Harmonic Drive Schrittantrieb.....	84
7	Analytische Auslegung von Formgedächtnisaktoren.....	85
7.1	Dimensionierung von Formgedächtnis-Drahtaktoren	85
7.2	Dimensionierung von Formgedächtnis-Federaktoren	89
8	Numerische Auslegung von Formgedächtnisaktoren	95
8.1	Grundlagen.....	95
8.1.1	Berechnung der Dehnungsanteile des Formgedächtnisaktors	97
8.1.2	Berechnung der Konvektion	98
8.1.3	Berechnung der Drahttemperatur	98
8.1.4	Berechnung des Phasenumwandlungsgrades ξ (Martensitanteil):.....	99
8.2	Geregeltes Simulationsmodell	102
8.3	Validierung des Simulationsmodells.....	103
8.4	Ursachen für die Abweichungen des Simulationsmodells	105

9	Regelungsstrategien für Formgedächtnisaktoren	107
9.1	Grundlagen	107
9.2	Nutzung des internen Sensoreffektes	108
9.2.1	Sensoreffekt von Formgedächtnisaktoren	108
9.2.2	Sensoreffekt von pseudoelastischen Formgedächtniskomponenten	112
9.3	Einfache Regler	113
9.3.1	Abschaltregelung von Formgedächtnisaktoren	113
9.3.2	Zustandsüberwachung von Aktorelementen	116
9.3.3	Zustandsüberwachung von pseudoelastischen Formgedächtniselementen	118
9.4	Adaptive Regler	119
9.4.1	Positionsregelung von Formgedächtnisaktoren	119
9.4.2	PI-Reglercharakteristik für widerstandsrückgekoppelte FG-Systeme	122
9.4.3	Regelung von pseudoelastischen Elementeigenschaften	123
10	Kritische Eigenschaften von Formgedächtnislegierungen	126
10.1	Ermüdungsverhalten	127
10.1.1	Klassifizierung des Ermüdungsverhaltens	127
10.1.2	Einfluss der Verbindungstechnik	128
10.1.3	Einfluss von Stellweg und Last	130
10.1.4	Einfluss von Legierungselementen	131
10.2	Dynamisches Verhalten	133
10.2.1	Klassifizierung des dynamischen Verhaltens	133
10.2.2	Zyklische Dynamik	133
10.2.3	Grenzen der zyklischen Dynamik	135
10.2.4	Reaktionsdynamik	136
10.2.5	Einfluss der mechanischen Vorspannung	139
10.3	Optimierungsstrategien hinsichtlich des Ermüdungsverhaltens	142
10.3.1	Neue Prinzipien zur Lebensdaueroptimierung	142
10.3.2	Veränderung der Bauweise	144
10.3.3	Korrektur der Vorspannung	146
10.4	Optimierungsstrategien hinsichtlich des dynamischen Verhaltens	146
10.4.1	Veränderung der Umgebungsbedingungen	147
10.4.2	Veränderung der Umwandlungstemperaturen	148
10.4.3	Veränderung der Hysteresebreite	149
10.4.4	Veränderung der Form	150
11	Anwendungspotentiale von Formgedächtnisaktoren	153
11.1	Thermisch aktivierte Systeme	153
11.1.1	Anwendungsbeispiele	153
11.1.2	Konkurrierende Systeme	156
11.1.3	Analyse des Einsatzpotentials	159
11.2	Elektrisch aktivierte Systeme	160
11.2.1	Konkurrierende Systeme	166
11.2.2	Analyse des Einsatzpotentials	169
11.3	Anwendungspotentiale aus ökologischer Sicht	171
11.3.1	Ressourcenschonung durch Leichtbau	172

12	Standardisierungspotentiale von Formgedächtnisaktoren	175
12.1	Warum Standardisierung	175
12.2	Beispiele von FG-Standardaktoren	177
12.2.1	Standardaktor FGA-Basic	177
12.2.2	Standardaktor mit übersetzender Trägerstruktur	180
12.3	FGL-basierte Baukastensysteme	182
12.3.1	Definition von Baukastensystemen	182
12.3.2	Beispiel eines FGL-basierten Baukastensystems	183
12.3.3	Zukünftige Potentiale von FG-Baukastensystemen	186
13	Leitfaden zur Entwicklung von Formgedächtnisaktoren	188
13.1	Grundlagen	188
13.2	Anforderungsermittlung	189
13.3	Klassifizierung der Anforderungen	191
13.4	Systementwurf	194
14	Entwicklung eines FGL-basierten Pneumatikventils	205
14.1	Grundlagen	205
14.2	Methodische Konzipierung des FGL-basierten Ventils	208
14.2.1	Anforderungsanalyse	208
14.2.2	Funktionsstruktur und Wirkprinzipien	209
14.2.3	Prinzipielle Lösungsvarianten	211
14.2.4	Bewertung – Material, Stromleitung und Abdichtung	212
14.3	Methodischer Entwurf des Formgedächtnisaktors	212
14.3.1	Erfassung der Randbedingungen und Festlegung der Bauweise	212
14.3.2	Konkretisierung der Partitionen und Konzipierung der Effekte	214
14.4	Entwurf des FGL-basierten Ventils	217
14.4.1	Strömungsverlauf und Aktoreinbau	217
14.4.2	Energieversorgung	218
14.5	Dimensionierung des Formgedächtnisaktors	218
14.6	Überlegungen zur Montage des Systems	221
15	Technologietrends in der Formgedächtnistechnik	224
15.1	Hochtemperaturlegierungen	224
15.2	Adaptive Rückstellung	227
15.3	Lokale Konfiguration	228
16	Schlusswort	232
	Literaturverzeichnis	235
	Abbildungsverzeichnis	241
	Tabellenverzeichnis	246
	Sachwortverzeichnis	247