

Berichte der
Institute für
Automatisierungs-
technik



Technische
Universität
Braunschweig

Dipl.-Ing. Holger Stork, Bühl

Aufbau, Modellbildung und Regelung von Formgedächtnis- Aktorsystemen

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

Nr. **657**

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Entwicklungstendenzen von Aktoren	1
1.2 Neuartige Aktoren auf Basis von Formgedächtnislegierungen	3
1.3 Defizite beim Einsatz von FG-Aktoren	6
1.4 Ziel und Aufbau dieser Arbeit	7
2 Eigenschaften von Formgedächtnislegierungen	9
2.1 Formgedächtniseffekt	9
2.2 Einwegeffekt	13
2.3 Zweiwegeffekt	14
2.4 Pseudoelastizität	15
2.5 Technisch genutzte FG-Legierungen	16
2.6 Herstellung von Elementen aus Nickel-Titan	19
2.6.1 FG-Elemente aus NiTi-Draht	19
2.6.2 Neue Verfahren zur Herstellung von FG-Elementen	20
2.7 Zusammenfassung	20
3 Gestaltung von Formgedächtnis-Aktorsystemen	22
3.1 Komponenten des FG-Aktorsystems	22
3.2 Aufbau von FG-Aktoren	24
3.2.1 Allgemeines	24
3.2.2 Arbeitsvermögen beim Zweiwegeffekt	25
3.2.3 Aktorbauform und Stellbewegung	27
3.2.4 Volumennutzungsgrad	32
3.3 Abkühlverhalten von FG-Aktoren	33
3.4 Rückstellvorrichtungen für FG-Aktoren	38
3.4.1 Bedeutung der Rückstellkraft	38
3.4.2 Aufbau der Rückstellvorrichtung	40
3.5 Auswahl des FG-Aktorsystems	42
3.6 Hybrid-Aktoren	45

3.7	Verbindungstechnik	47
3.8	Zusammenfassung	48
4	Dynamisches Modell für Formgedächtnis-Aktorsysteme	50
4.1	Statische und dynamische Eigenschaften des FG-Aktorsystems	50
4.2	Teilmodelle des FG-Aktormodells	54
4.3	Wärmeaustausch-Modell	56
4.4	Hysterese-Modell des FG-Effektes	57
4.4.1	Allgemeine Hysterese-Modelle	58
4.4.2	Spezielle Hysterese-Modelle für den FG-Effekt	62
4.4.3	Bewertung der Hysterese-Modelle	65
4.5	Thermodynamisches Modell der Phasenumwandlung	67
4.5.1	Innere Energie und freie Enthalpie	67
4.5.2	Betrachtung der einzelnen Phasen	69
4.5.3	Zweiphasensystem mit idealer Phasentransformation	70
4.5.4	Geometrieunabhängige und vereinfachte Darstellung	72
4.5.5	Verschiebung der Umwandlungstemperaturen	74
4.5.6	Hysteresebehafteter Phasenübergang	75
4.6	Gesamtmodell	76
4.7	Simulation des Modells auf dem Digitalrechner	79
4.7.1	Lösen der Modellgleichungen	79
4.7.2	Implementation und Parametrisierung des Preisach-Modells	80
4.7.3	Simulationsbeispiele	81
4.8	Zusammenfassung	83
5	Regelung von FG-Aktorsystemen	86
5.1	Allgemeine Betrachtungen	86
5.2	Multi-Modell des FG-Aktorsystems	90
5.2.1	Lineare Zustandsraumbeschreibung des Arbeitspunktmodells	90
5.2.2	Parameterabhängigkeit der Arbeitspunktmodelle	93
5.2.3	Übertragungsfunktionen	96
5.2.4	Modellvereinfachung	100
5.2.5	Zusammenfassung	101

5.3	Reglerentwurf	103
5.3.1	Lageregelung mit Proportional-Regler	103
5.3.2	Lageregelung mit PI-Regler	107
5.3.3	Stellbegrenzung	114
5.3.4	PI-Regler mit veränderlicher Reglerverstärkung	115
5.3.5	Kraftregelung	121
5.3.6	Realisierung der Stelleinrichtung	122
5.4	Zusammenfassung	123
6	Beispielanwendungen mit FG-Aktoren	126
6.1	Beispiel 1: Miniatur - Prüfroboter	126
6.1.1	Anforderungen an den Prüfroboter	126
6.1.2	Auslegung der FG-Aktoren für den Prüfroboter	128
6.1.3	Lageregelung	132
6.1.4	Zusammenfassung	135
6.2	Beispiel 2: Miniaturgreifer	136
6.2.1	Aufbau des Greifers	136
6.2.2	Auslegung des FG-Aktors	137
6.2.3	Kraftregelung	139
6.2.4	Zusammenfassung	140
7	Zusammenfassung und Ausblick	141
7.1	Zusammenfassung	141
7.2	Ausblick	145
A	Daten der Legierung GST 7020	147
B	Vereinfachte Berechnung des Preisachmodells	148
C	Inversion der Modellgleichungen	153
	Literaturverzeichnis	158