

Inhaltsverzeichnis

1. Grundlagen der Fuzzy-Systeme	1
1.1 Fuzzy-Mengen	2
1.2 Repräsentation von Fuzzy-Mengen	6
1.2.1 Definition mittels Funktionen	6
1.2.2 Niveaumengen	8
1.3 Fuzzy-Logik	10
1.3.1 Aussagen und Wahrheitswerte	11
1.3.2 t-Normen und t-Conormen	14
1.3.3 Voraussetzungen und Probleme	19
1.4 Operationen auf Fuzzy-Mengen	20
1.4.1 Durchschnitt	21
1.4.2 Vereinigung	22
1.4.3 Komplement	23
1.4.4 Linguistische Modifizierer	25
1.5 Das Extensionsprinzip	26
1.5.1 Abbildungen von Fuzzy-Mengen	27
1.5.2 Abbildungen von Niveaumengen	29
1.5.3 Kartesisches Produkt und zylindrische Erweiterung ...	30
1.5.4 Extensionsprinzip für mehrelementige Abbildungen ...	31
1.6 Fuzzy-Relationen	33
1.6.1 Gewöhnliche Relationen	33
1.6.2 Anwendung von Relationen und Inferenz	34
1.6.3 Inferenzketten	37
1.6.4 Einfache Fuzzy-Relationen	39
1.6.5 Verkettung von Fuzzy-Relationen	43
1.7 Ähnlichkeitsrelationen	45
1.7.1 Fuzzy-Mengen und extensionale Hüllen	47
1.7.2 Skalierungskonzepte	48
1.7.3 Interpretation von Fuzzy-Mengen	52
2. Regelungstechnische Grundlagen	59
2.1 Grundbegriffe	59
2.2 Modell der Strecke	63
2.2.1 Problemstellung	63

2.2.2	Normierung	64
2.2.3	Elementare lineare Übertragungsglieder	65
2.2.4	Elementare nichtlineare Übertragungsglieder	67
2.2.5	Verzögerungsglieder erster und zweiter Ordnung	69
2.2.6	Anwendungsbereich	73
2.2.7	Linearisierung	74
2.2.8	Abschließende Bemerkungen	75
2.3	Übertragungsfunktion	76
2.3.1	Laplace-Transformation	76
2.3.2	Berechnung von Übertragungsfunktionen	78
2.3.3	Interpretation der Übertragungsfunktion	80
2.3.4	Berechnung der Sprungantwort	82
2.3.5	Vereinfachung einer Übertragungsfunktion	85
2.4	Frequenzgangdarstellung	87
2.4.1	Einführung des Frequenzganges	87
2.4.2	Ortskurve	88
2.4.3	Bode-Diagramm	92
2.5	Stabilität linearer Systeme	93
2.5.1	Definition der Stabilität	93
2.5.2	Stabilität einer Übertragungsfunktion	95
2.5.3	Stabilität eines Regelkreises	96
2.5.4	Kriterium von Cremer, Leonhard und Michailow	98
2.5.5	Nyquist-Kriterium	100
2.6	PID-Regler	105
2.6.1	Anforderungen an einen Regler	105
2.6.2	Reglertypen	109
2.6.3	Reglerentwurf	115
2.6.4	Strukturerweiterung	118
2.7	Zustandsdarstellung und Zustandsregelung	127
2.7.1	Grundlagen	127
2.7.2	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	136
2.7.3	Der Ljapunovsche Stabilitätsbegriff für lineare Systeme	140
2.7.4	Entwurf eines Zustandsreglers	143
2.7.5	Linearer Beobachter	149
2.7.6	Stationäre Genauigkeit von Zustandsreglern	151
2.7.7	Normoptimale Regler	153
2.8	Nichtlineare Systeme	160
2.8.1	Eigenschaften nichtlinearer Systeme	160
2.8.2	Behandlung nichtlinearer Systeme mit linearen Methoden	161
2.8.3	Schaltende Übertragungsglieder	168
2.8.4	Definition der Stabilität bei nichtlinearen Systemen	180
2.8.5	Direkte Methode von Ljapunov	188
2.8.6	Harmonische Balance	192

2.8.7	Popov-Kriterium	205
2.8.8	Kreiskriterium	214
2.8.9	Hyperstabilität	222
2.8.10	Sliding Mode-Regler	232
2.8.11	Nichtlinearer Beobachter	237
3.	Fuzzy-Regler und Regler-Evaluierung	239
3.1	Mamdani-Regler	239
3.1.1	Hinweise zum Reglerentwurf	244
3.1.2	Defuzzifizierungsmethoden	247
3.2	Takagi-Sugeno-Kang-Regler	249
3.3	Logikbasierte Regler	252
3.4	Mamdani-Regler und Ähnlichkeitsrelationen	254
3.4.1	Interpretation eines Reglers	254
3.4.2	Konstruktion eines Reglers	256
3.5	Fuzzy-Regelung versus klassische Regelung	258
4.	Stabilitätsanalyse von Fuzzy-Reglern	263
4.1	Voraussetzungen	263
4.1.1	Struktur des Regelkreises	263
4.1.2	Analytische Approximation eines Fuzzy-Reglers	265
4.1.3	Takagi-Sugeno-Kang-Systeme	267
4.2	Direkte Methode von Ljapunov	272
4.2.1	Anwendung auf gewöhnliche Fuzzy-Regler	273
4.2.2	Anwendung auf Takagi-Sugeno-Kang-Regler	274
4.2.3	Anwendung auf Facettenfunktionen	287
4.3	Harmonische Balance	291
4.4	Popov-Kriterium	294
4.5	Kreiskriterium	295
4.5.1	Regler mit einer Eingangsgröße	295
4.5.2	Regler mit mehreren Eingangsgrößen	295
4.5.3	Mehrgrößenregler	298
4.6	Normenbasierte Stabilitätsanalyse	298
4.7	Hyperstabilitätskriterium	302
4.8	Vergleich mit einem Sliding Mode-Regler	303
4.9	Direkte Analyse im Zustandsraum	306
4.9.1	Konvexe Zerlegung	306
4.9.2	Cell-to-Cell Mapping	308
4.10	Fazit	313
5.	Einstellung und Optimierung von Fuzzy-Reglern	317
5.1	Entwurf von TSK-Reglern	320
5.2	Adaption von Kennfeldern	322
5.2.1	Adaptiver Kompensationsregler	322
5.2.2	Adaptiver Sliding Mode-Regler	330

5.3	Modifikation der Fuzzy-Regeln	332
5.4	Modellbasierte Regelung	334
5.4.1	Modellstruktur	334
5.4.2	Einschritt-Regelung	339
5.4.3	Optimale Regelung	345
5.5	Fuzzy-Regler und Fuzzy-Clustering	350
5.5.1	Fuzzy-Clusteranalyse	350
5.5.2	Erzeugung von Mamdani-Reglern	355
5.5.3	Erzeugung von TSK-Modellen	355
5.6	Neuro Fuzzy-Regelung	356
5.6.1	Neuronale Netze	357
5.6.2	Kombination Neuronaler Netze und Fuzzy-Regler	361
5.6.3	Modelle mit überwachten Lernverfahren	365
5.6.4	Modelle mit verstärkendem Lernen	369
5.6.5	Diskussion	375
5.7	Fuzzy-Regler und evolutionäre Algorithmen	375
5.7.1	Evolutionsstrategien	376
5.7.2	Genetische Algorithmen	377
5.7.3	Evolutionäre Algorithmen zur Optimierung von Fuzzy-Reglern	379
5.7.4	Ein Genetischer Algorithmus zum Erlernen eines TSK-Reglers	383
5.7.5	Diskussion	384
A.	Anhang	387
A.1	Korrespondenztabelle zur Laplace-Transformation	387
A.2	Systeme mit nicht-minimaler Phase	388
A.3	Normen	391
A.4	Die Ljapunov-Gleichung	396
A.5	Die Lie-Ableitung	398
A.6	Positiv reelle Systeme	399
A.7	Lineare Matrixungleichungen	400
	Literaturverzeichnis	401
	Index	413