

Christian Borgelt, Frank Klawonn,
Rudolf Kruse, Detlef Nauck

Neuro-Fuzzy-Systeme

**Von den Grundlagen künstlicher
Neuronaler Netze zur Kopplung
mit Fuzzy-Systemen**

3. Auflage



Inhaltsverzeichnis

I	Neuronale Netze	1
1	Einleitung	3
1.1	Motivation	3
1.2	Biologische Grundlagen	5
2	Schwellenwertelemente	8
2.1	Definition und Beispiele	8
2.2	Geometrische Deutung	10
2.3	Grenzen der Ausdrucksmächtigkeit	12
2.4	Netze von Schwellenwertelementen	14
2.5	Training der Parameter	16
2.6	Varianten	27
2.7	Training von Netzen	27
3	Allgemeine neuronale Netze	29
3.1	Struktur neuronaler Netze	29
3.2	Arbeitsweise neuronaler Netze	32
3.3	Training neuronaler Netze	36
4	Mehrschichtige Perzeptren	39
4.1	Definition und Beispiele	39
4.2	Funktionsapproximation	46
4.3	Logistische Regression	52
4.4	Gradientenabstieg	55
4.5	Fehler-Rückpropagation	59
4.6	Beispiele zum Gradientenabstieg	61
4.7	Varianten des Gradientenabstiegs	65
4.8	Beispiele zu einigen Varianten	71
4.9	Sensitivitätsanalyse	74
5	Radiale-Basisfunktionen-Netze	76
5.1	Definition und Beispiele	76
5.2	Funktionsapproximation	80
5.3	Initialisierung der Parameter	84
5.4	Training der Parameter	91
5.5	Verallgemeinerte Form	96

Selbstorganisierende Karten	98
6.1 Definition und Beispiele	98
6.2 Lernende Vektorquantisierung	101
6.3 Nachbarschaft der Ausgabeneuronen	105
Hopneld-Netze	111
7.1 Definition und Beispiele	111
7.2 Konvergenz der Berechnungen	115
7.3 Assoziativspeicher	120
7.4 Lösen von Optimierungsproblemen	125
7.5 Simuliertes Ausglühen	131
Rückgekoppelte Netze	134
8.1 Einfache Beispiele	134
8.2 Darstellung von Differentialgleichungen	140
8.3 Vektorielle neuronale Netze	141
8.4 Fehler-Rückpropagation in der Zeit	145
II Fuzzy-Systeme	149
9 Einleitung	151
9.1 Motivation	151
9.2 Fuzzy-Mengen	152
9.3 Grundlegende Operationen auf Fuzzy-Mengen	156
10 Fuzzy-Systeme und -Verfahren	161
10.1 Fuzzy-Regelung	161
10.2 Fuzzy-Klassifikatoren	168
10.3 Fuzzy-Clusteranalyse	170
III Neuro-Fuzzy-Systeme	177
11 Einleitung	179
11.1 Modellierung von Expertenverhalten	179
11.2 Kombination Neuronaler Netze und Fuzzy-Systeme	182
11.3 Was ist ein Neuro-Fuzzy-System?	188
12 Typen von Neuro-Fuzzy-Systemen	194
12.1 Kooperative und Hybride Neuro-Fuzzy-Systeme	194
12.2 Adaptive Fuzzy-Assoziativspeicher	201
12.3 Linguistische Interpretation selbstorganisierender Karten	208
12.4 Erlernen von Fuzzy-Mengen	211
12.5 Das ARIC-Modell	215
12.6 Das GARIC-Modell	224

12.7	Das ANFIS-Modell	233
12.8	Das NNDFR-Modell	238
12.9	Das FuNe-I-Modell	242
12.10	Fuzzy RuleNet	248
12.11	Weitere Modelle	252
13	Das generische Fuzzy-Perzeptron	257
13.1	Architektur	258
13.2	Lernverfahren	260
13.3	Semantische Aspekte	262
14	Fuzzy-Regeln aus Daten lernen	264
14.1	Strukturlernen	266
14.2	Lernalgorithmen	273
14.3	Behandlung symbolischer Daten	282
14.4	Behandlung fehlender Werte	289
15	Optimierung von Fuzzy-Regelbasen	293
15.1	Adaptive Regelgewichte	293
15.2	Lernverfahren für Fuzzy-Mengen	308
15.3	Strukturoptimierung (Pruning)	327
16	Fuzzy-Regelung mit NEFCON	330
16.1	Die Architektur	332
16.2	Parameterlernen — Fuzzy-Mengen trainieren	336
16.3	Erlernen einer Regelbasis	346
16.4	Implementierungen von NEFCON	350
17	Klassifikation mit NEFCLASS	362
17.1	Intelligente Datenanalyse	362
17.2	Das NEFCLASS-Modell	364
17.3	Implementierungsaspekte	367
17.4	Der Einfluss von Regelgewichten	370
17.5	Erzeugung kleiner Klassifikatoren	373
17.6	Verwendung Symbolischer Variablen	376
17.7	Klassifikation als Datenvorverarbeitung	378
18	Funktionsapproximation mit NEFPROX	383
19	Anwendung von Neuro-Fuzzy-Systemen	387
19.1	Anwendungsbeispiele	387
19.2	Auswahl von Neuro-Fuzzy-Ansätzen	390
19.3	Semantik und Interpretierbarkeit	392

IV	Anhänge	397
A	Geradengleichungen	399
B	Regression	402
C	Aktivierungsumrechnung	407
	Literaturverzeichnis	409
	Index	429