

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurseinheit 1</b>	<b>1</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>3</b>
1.1 Was ist ein Neuronales Netz? . . . . .	4
1.2 Eigenschaften Neuroner Netze . . . . .	5
1.2.1 Allgemeine Merkmale . . . . .	5
1.2.2 Neuronale Netze als Klassifikatoren . . . . .	6
1.3 Zur Historie . . . . .	7
1.3.1 Die Anfänge . . . . .	8
1.3.2 Der erste Aufschwung . . . . .	8
1.3.3 Die Phase der Ernüchterung, aber auch der theoretischen Fundierung . . . . .	9
1.3.4 Die Renaissance . . . . .	10
1.4 Das Forschungsgebiet Neuronale Netze . . . . .	11
1.4.1 Neuronale Netze und angrenzende Gebiete . . . . .	11
1.4.2 Neuronale Netze und KI . . . . .	12
1.5 Kursüberblick . . . . .	13
1.6 Einige ausgewählte Lehrbücher . . . . .	14
<b>2 Mustererkennung</b>	<b>16</b>
2.1 Einführung . . . . .	16
2.2 Entscheidungsgrenzen . . . . .	17
2.3 Klassifikationstechniken . . . . .	19
2.3.1 Nearest- Neighbour-Klassifikation . . . . .	19
2.3.2 Distanzmetriken . . . . .	20
2.3.3 Lineare Klassifikation . . . . .	21
2.3.4 Bayessche Klassifikation . . . . .	23
2.4 Performanz von Klassifikatoren . . . . .	29
2.4.1 Fehlerabschätzung . . . . .	29
2.4.2 Fehler, Kosten und Risiken . . . . .	30
2.4.3 Überspezialisierung von Klassifikatoren . . . . .	32
2.5 Zusammenfassung . . . . .	33

Fragen zu Kurseinheit 1	35
Literaturverzeichnis	37
Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 1	51
Lösungshinweise für die Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 1	53
Index	55

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurseinheit 2</b>	<b>57</b>
<b>3 Biologische Grundlagen</b>	<b>5</b>
3.1 Die Nervenzelle . . . . .	59
3.2 Erregung von Nerven . . . . .	61
3.2.1 Das Ruhepotential . . . . .	61
3.2.2 Das Aktionspotential . . . . .	65
3.3 Synaptische Übertragung . . . . .	66
3.4 Schaltprinzipien einfacher Neuronenverbände . . . . .	68
<b>4 Die Grundlagen künstlicher Neuroner Netze</b>	<b>72</b>
4.1 Die charakteristischen Merkmale Neuroner Netze . . . . .	74
4.2 Das Neuron . . . . .	75
4.2.1 Die Inputfunktion oder Propagierungsfunktion . . . . .	76
4.2.2 Aktivierungsfunktion und Aktivierungszustand . . . . .	77
4.2.3 Die Ausgabefunktion . . . . .	83
4.3 Der Netzwerkgraph . . . . .	83
4.3.1 FF-Netze . . . . .	84
4.3.2 FB-Netze . . . . .	84
4.4 Die Lernregel . . . . .	86
4.4.1 Hebbsche Lernregel . . . . .	86
4.4.2 Delta-Regel . . . . .	87
4.4.3 Erweiterte Delta-Regel . . . . .	87
4.5 Die Arbeitsphasen Neuroner Netze . . . . .	88
4.6 Datenräume . . . . .	88
4.6.1 Einfluß der Aktivierungsfunktion auf die Entscheidungsfläche . . . . .	89
4.6.2 Einfluß der verdeckten Neuronen auf die Ent- scheidungsfläche . . . . .	91

<b>5 Das Perzeptron</b>	<b>4</b>
5.1 Einführung . . . . .	94
5.2 Das Perzeptron-Lernverfahren . . . . .	96
5.3 Lineare Separierbarkeit . . . . .	97
<b>Fragen zu Kurseinheit 2</b>	<b>1 1</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>1 3</b>
<b>Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 2</b>	<b>1 5</b>
<b>Lösungshinweise für die Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 2</b>	<b>1 7</b>
<b>Index</b>	<b>1</b>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurseinheit 3</b>	<b>111</b>
<b>6 Überwachtes Lernen</b>	<b>113</b>
6.1 Einführung . . . . .	113
6.2 Mehrlagige Perzeptrons – Backpropagation . . . . .	114
6.2.1 Allgemeine Grundlagen . . . . .	114
6.2.2 Die Herleitung der erweiterten Delta-Regel . . . . .	116
6.2.3 Der Trainingsalgorithmus . . . . .	118
6.2.4 Kritische Aspekte zu Backpropagation . . . . .	120
6.3 Erweiterungen zu Backpropagation . . . . .	121
6.3.1 Der Momentum-Term . . . . .	121
6.3.2 Der “Gradient Reuse”-Algorithmus . . . . .	122
6.3.3 Zusammenfassung . . . . .	122
6.4 Quickprop . . . . .	123
6.4.1 Einführung . . . . .	123
6.4.2 Der Quickprop-Algorithmus . . . . .	124
6.5 Resilient Propagation . . . . .	127
6.5.1 Einführung . . . . .	127
6.5.2 Der RPROP-Algorithmus . . . . .	128
6.6 Verfahren zur Optimierung von Netzen . . . . .	132
6.7 Zusammenfassung . . . . .	134
<b>Fragen zu Kurseinheit 3</b>	<b>135</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>137</b>
<b>Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 3</b>	<b>141</b>
<b>Lösungshinweise für die Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 3</b>	<b>143</b>
<b>Index</b>	<b>147</b>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurseinheit 4</b>	<b>14</b>
<b>7 Kohonen-Netze</b>	<b>151</b>
7.1 Einführung . . . . .	151
7.2 Topologische Karten . . . . .	151
7.3 Neurophysiologische Motivation . . . . .	152
7.4 Das Kohonen-Modell . . . . .	155
7.5 Nachbarschaftsfunktionen im Kohonen-Modell . . . . .	157
7.6 Der Algorithmus im Überblick . . . . .	159
7.7 Die Ausbildung von Kohonen-Karten . . . . .	160
7.8 Zusammenfassung . . . . .	164
<b>ART-Netze</b>	<b>166</b>
8.1 ART-1-Netze . . . . .	167
8.1.1 Einführung . . . . .	167
8.1.2 Funktionsweise und Architektur . . . . .	167
8.1.3 Die Komponenten von ART-1 . . . . .	169
8.1.4 Arbeitsweise . . . . .	171
8.1.5 Informationsfluß . . . . .	177
8.2 Weitere ART-Netze . . . . .	179
8.3 Ein Anwendungsbeispiel . . . . .	180
8.4 Zusammenfassung . . . . .	182
<b>Fragen zu Kurseinheit 4</b>	<b>1 3</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>1 5</b>
<b>Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 4</b>	<b>1</b>
<b>Lösungshinweise für die Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 4</b>	<b>1 1</b>
<b>Index</b>	<b>1 5</b>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurseinheit 5</b>	<b>17</b>
<b>Hopfield-Netze</b>	<b>1</b>
9.1 Einführung . . . . .	199
9.2 Ergänzendes zu Hopfield-Netzen . . . . .	207
9.3 Zusammenfassung . . . . .	208
<b>1 Die Boltzmann-Maschine</b>	<b>2</b>
10.1 Einführung . . . . .	209
10.2 Die stochastische Erweiterung . . . . .	209
10.3 Das Lernverfahren . . . . .	213
10.4 Zusammenfassung . . . . .	215
<b>11 Cascade-Correlation-Netze</b>	<b>216</b>
11.1 Einführung . . . . .	216
11.2 Das Verfahren . . . . .	217
11.3 Zusammenfassung . . . . .	219
<b>12 Counterpropagation</b>	<b>22</b>
12.1 Einführung . . . . .	220
12.2 Aufbau eines Counterpropagation-Netzes . . . . .	221
12.3 Die Kohonen-Schicht . . . . .	222
12.4 Die Grossberg-Schicht . . . . .	223
12.5 Zusammenfassung . . . . .	224
<b>Fragen zu Kurseinheit 5</b>	<b>225</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>227</b>
<b>Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 5</b>	<b>231</b>
<b>Lösungshinweise für die Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 5</b>	<b>233</b>
<b>Index</b>	<b>235</b>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurseinheit 6</b>	<b>23</b>
<b>13 Probabilistische Neuronale Netze</b>	<b>23</b>
13.1 Einführung . . . . .	239
13.2 Bayessche Klassifikatoren . . . . .	240
13.2.1 Ein Beispiel . . . . .	240
13.2.2 Parzen-Fenster . . . . .	242
13.2.3 Die Bayessche Entscheidungsfunktion . . . . .	244
13.2.4 Einbeziehung der Risiken, Folgeabschätzung der Klassifikation . . . . .	245
13.2.5 Anwendung auf mehrere Kategorien bzw. Klassen (Fortsetzung des Beispiels aus Abschnitt 13.2.1) . . . . .	247
13.3 Die Architektur probabilistischer Netzwerke . . . . .	248
13.3.1 Zusammenfassung . . . . .	250
<b>14 Radiale Basisfunktions-Netze RBF-Netze</b>	<b>251</b>
14.1 Einführung . . . . .	252
14.2 Aufbau eines RBF-Netzes . . . . .	252
14.3 Training von RBF-Netzen . . . . .	256
14.3.1 Wahl der Stützstellen . . . . .	256
14.3.2 Der Streuparameter $\sigma$ . . . . .	258
14.3.3 Berechnung der Ausgabematrix $W$ . . . . .	258
14.4 Zusammenfassung . . . . .	259
<b>Fragen zu Kurseinheit 6</b>	<b>261</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>263</b>
<b>Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 6</b>	<b>265</b>
<b>Lösungshinweise für die Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 6</b>	<b>267</b>
<b>Index</b>	<b>26</b>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurseinheit 7</b>	<b>271</b>
<b>15 Neuronale Netze und Fuzzz -Logik</b>	<b>273</b>
15.1 Einführung . . . . .	273
15.2 Grundlagen der Fuzzy-Logik . . . . .	273
15.2.1 Basis-Definitionen . . . . .	274
15.2.2 Zugehörigkeitsfunktionen . . . . .	278
15.2.3 Operationen auf Fuzzy-Sets . . . . .	281
15.2.4 Fuzzy-Mengen und Fuzzy-Logik . . . . .	282
15.2.5 Linguistische Variablen . . . . .	284
15.2.6 Funktionsweise eines Fuzzy-Systems . . . . .	286
15.3 Neuro-Fuzzy-Systeme . . . . .	291
15.3.1 Fuzzy-ART . . . . .	291
15.3.2 Neuro-Fuzzy-Control . . . . .	293
15.4 Zusammenfassung . . . . .	296
<b>16 Neuronale Netze und genetische Algorithmen</b>	<b>27</b>
16.1 Grundlagen evolutionärer Prozesse . . . . .	297
16.1.1 Organisation des Erbmaterials . . . . .	297
16.1.2 Mutationen auf dem Genpool . . . . .	299
16.1.3 Die Evolution als Optimierungsverfahren . . . . .	301
16.2 Genetische Algorithmen . . . . .	303
16.2.1 Kodierung . . . . .	304
16.2.2 Die Operatoren . . . . .	304
16.2.3 Selektionskriterien . . . . .	305
16.3 Neuro-genetische Verfahren . . . . .	306
16.3.1 Genetische Algorithmen zur Optimierung der Gewichts- matrix . . . . .	306
16.3.2 Genetische Algorithmen zur Optimierung der Netztopo- logie . . . . .	308
16.4 Zusammenfassung . . . . .	309

Fragen zu Kurseinheit 7	311
Literaturverzeichnis	313
Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 7	315
Lösungshinweise für die Selbsttestaufgaben zu Kurseinheit 7	317
Index	321