

Inhaltsverzeichnis

Teil I:	Einführung und Neurobiologische Grundlagen.....	21
Kapitel 1	Einleitung und Motivation	23
1.1	Was sind Neuronale Netze?	23
1.2	Geschwindigkeitsvergleich Gehirn - Rechner	25
1.3	100-Schritt-Regel	26
1.4	Vergleich Konnektionismus - klassische Künstliche Intelligenz (KI)	26
1.5	Eigenschaften neuronaler Netze	26
1.6	Geschichte neuronaler Netze	28
1.6.1	Frühe Anfänge (1942-1955).....	28
1.6.2	Erste Blütezeit (1955-1969).....	29
1.6.3	Die stillen Jahre (1969-1982).....	29
1.6.4	Die Renaissance neuronaler Netze (1985-heute).....	32
1.7	Bemerkungen zum vorliegenden Buch.....	34
Kapitel 2	Biologische Neuronen.....	35
2.1	Aufbau einer Nervenzelle	35
2.2	Zellmembran von Nervenfasern	39
2.3	Fortpflanzung des Nervensignals entlang des Axons.....	40
2.4	Myelinhülle.....	43
2.5	Weiterleitung des Nervensignals über eine Synapse.....	44
2.6	Neurotransmitter	47
2.7	Einige Zahlen und Formeln über Neuronen.....	49
2.8	Vereinfachte Modellierung von Neuronen bei der Simulation	51
Kapitel 3	Kleine Verbände von Nervenzellen	55
3.1	Die Meeresschnecke Aplysia	55
3.2	Steuerung des Herzschlags und Blutdrucks von Aplysia.....	55
3.3	Steuerung des Kiemenreflexes von Aplysia.....	57
Kapitel 4	Gehirn des Menschen.....	59
4.1	Struktur des Gehirns	59
4.2	Sensorische Nervenleitung.....	61
4.3	Sinneswahrnehmungen	62
4.4	Motorische Nervenleitung	63
4.5	Das autonome Nervensystem	64

4.6	Weg der visuellen Information ins Sehfeld	64
4.6.1	Augendominanz-Spalten des primären Sehfeldes	65
4.7	Bereiche der Großhirnrinde	66
4.7.1	Aufteilung in funktionell differenzierte Bereiche	66
4.7.2	Lage funktionell verschiedener Bereiche des Cortex	67
4.7.3	Verstehen und Produktion von Sprache und Schrift	67
Teil II	Konnektionistische Modelle	69
Kapitel 5	Konzepte des Konnektionismus.....	71
5.1	Zellen als stark idealisierte Neuronen.....	71
5.2	Bestandteile neuronaler Netze	72
5.3	Zelltypen nach Position im Netzwerk.....	73
5.4	Beispiel eines Netzes: XOR-Netzwerk mit 4 Zellen	74
5.5	Aktivierungszustand	75
5.6	Ausgabefunktion	76
5.7	Arten von Verbindungsnetzwerken.....	76
5.7.1	Netze ohne Rückkopplung (feedforward-Netze)	78
5.7.2	Netze mit Rückkopplungen.....	78
5.7.3	Hinweise zur Matrixschreibweise.....	80
5.7.4	Ersetzung der Schwellenwerte durch ein "on"-Neuron	81
5.8	Propagierungsregel und Aktivierungsfunktion	83
5.9	Lernregel	83
5.9.1	Theoretisch mögliche Arten des Lernens.....	84
5.9.2	Hebb'sche Lernregel	84
5.9.3	Delta-Regel	85
5.9.4	Backpropagation-Regel.....	85
Kapitel 6	Komponenten neuronaler Modelle	87
6.1	Dynamische Eigenschaften der Modelle	87
6.1.1	Synchrone Aktivierung	87
6.1.2	Asynchrone Aktivierung	88
6.2	Weiteres über Aktivierungsfunktionen.....	89
6.2.1	Lineare Aktivierungsfunktionen	89
6.2.2	Schrittfunction	90
6.2.3	Sigmoide Aktivierungsfunktionen	90
6.3	Lernen in Neuronalen Netzen	93
6.3.1	Überwachtes Lernen	93
6.3.2	Probleme und Fragen überwachter Lernverfahren	95
6.3.3	Bestärkendes Lernen (reinforcement learning).....	95
6.3.4	Unüberwachtes Lernen (unsupervised learning)	95

Kapitel 7 Perzeptron	97
7.1 Schema des Perzeptrons.....	97
7.2 Neuronen des Perzeptrons.....	98
7.3 Lineare Trennbarkeit (linear separability)	99
7.4 Zweistufige Perzeptrons.....	101
7.5 Dreistufige Perzeptrons	102
7.6 Lernverfahren des Perzeptrons	103
Kapitel 8 Backpropagation	105
8.1 Prinzip des Lernverfahrens Backpropagation.....	105
8.2 Prinzip der Gradientenverfahren neuronaler Netze	106
8.3 Herleitung der Delta-Regel	107
8.4 Herleitung der Backpropagation-Regel	108
8.5 Probleme des Lernverfahrens Backpropagation	110
8.5.1 Symmetry Breaking	110
8.5.2 Lokale Minima der Fehlerfläche	112
8.5.3 Flache Plateaus.....	112
8.5.4 Oszillationen in steilen Schluchten.....	112
8.5.5 Verlassen guter Minima	112
8.5.6 Wahl der Schrittweite.....	113
8.5.7 Wahl des Dynamikbereichs.....	114
Kapitel 9 Modifikationen von Backpropagation.....	115
9.1 Momentum-Term	115
9.2 Flat-Spot Elimination.....	116
9.3 Weight Decay	117
9.4 Manhattan-Training	117
9.5 Normierung des Gradienten.....	118
9.6 SuperSAB: eigene Schrittweite für jedes Gewicht	118
9.7 Delta-Bar-Delta-Regel	119
9.8 Verallgemeinerung auf Sigma-Pi-Zellen.....	119
9.9 Second-Order Backpropagation.....	120
9.10 Quickprop	120
9.11 Resilient Propagation (Rprop)	124
Kapitel 10 Backpercolation (Perc).....	127
10.1 Prinzip des Lernverfahrens Backpercolation	127
10.2 Backpropagation als Grundlage für Backpercolation	128
10.3 Der Aktivierungsfehler im Backpercolation-Netzwerk	130
10.4 Nachrichten an die Vorgänger zur Änderung der Aktivierung.....	131
10.5 Adaption der Gewichte in Backpercolation.....	133

10.6	Lernrate und Fehlerverstärkung	133
10.7	Initialwerte der Gewichte für Backpercolation	134
10.8	Verallgemeinerung von Backpercolation für “Shortcut Connections”	135
Kapitel 11	Jordan-Netze und Elman-Netze	137
11.1	Repräsentation von Zeit in neuronalen Netzen	137
11.2	Jordan-Netze	138
11.3	Elman-Netze	140
11.4	Hierarchische Elman-Netze	141
11.5	Lernverfahren der partiell rekurrenten Netze	143
Kapitel 12	Gradientenverfahren für rekursive Netze	145
12.1	Backpropagation Through Time (BPTT)	145
12.2	Real-Time Recurrent Learning (RTRL)	148
12.3	Kombination von BPTT und RTRL	151
12.4	Rekurrentes Backpropagation	155
12.5	Zeitabhängiges rekurrentes Backpropagation	158
Kapitel 13	Cascade-Correlation Learning Architecture	161
13.1	Das Moving-Target-Problem	161
13.2	Der Cascade-Correlation-Algorithmus	162
13.3	Vergleich von Cascade-Correlation mit anderen Verfahren	166
13.4	Diskussion von Cascade-Correlation	168
13.5	Die Rekursive Cascade-Correlation-Architektur	168
13.6	Training der Rekurrenten Cascade-Correlation-Architektur	169
Kapitel 14	Lernende Vektorquantisierung (LVQ)	171
14.1	LVQ1	172
14.2	LVQ2.1	174
14.3	LVQ3	175
14.4	OLVQ1	176
14.5	Bemerkungen zu den LVQ-Algorithmen	177
Kapitel 15	Selbstorganisierende Karten (SOM)	179
15.1	Prinzip der selbstorganisierenden Karten	179
15.2	Lernverfahren der selbstorganisierenden Karten	180
15.3	Hinweise zur Verwendung der selbstorganisierenden Karte	186
Kapitel 16	Counterpropagation	189
16.1	Eigenschaften des Lernverfahrens Counterpropagation	189
16.2	Counterpropagation-Netz	190
16.3	Training der Kohonen-Schicht	192
16.3.1	Normalisierung der Eingabe	192

16.3.2	Veränderung der Gewichte.....	192
16.3.3	Initialisierung der Gewichtsvektoren	193
16.3.4	Interpolativer Modus.....	195
16.3.5	Statistische Eigenschaften des trainierten Netzes	195
16.4	Training der Grossberg-Schicht	195
16.5	Vollständiges Counterpropagation-Netz	196
Kapitel 17	Hopfield-Netze	197
17.1	Binäre Hopfield-Netze	198
17.2	Stabilität von Hopfield-Netzen	199
17.3	Kontinuierliche Hopfield-Netze	201
17.4	Anwendung von Hopfield-Netzen: Traveling Salesman Problem	201
17.4.1	Abbildung des TSP auf ein Netzwerk	202
Kapitel 18	Boltzmann-Maschine	207
18.1	Die Boltzmann-Maschine als Lösung von Hopfield-Netz-Problemen ...	207
18.2	Energie und Aktivierungsfunktion der Boltzmann-Maschine	208
18.3	Ein Lernverfahren für Boltzmann-Maschinen	210
18.4	Herleitung des Lernverfahrens der Boltzmann-Maschine	212
18.5	Veranschaulichung des Simulated Annealing	214
Kapitel 19	Bidirekionaler Assoziativspeicher (BAM).....	217
19.1	Eigenschaften und Struktur des BAM	217
19.2	Einfachste Version des BAM	218
19.3	Auffinden gespeicherter Assoziationen des BAM	219
19.4	Kodierung der Assoziationen des BAM	220
19.5	Stabilität und Speicherkapazität des BAM	221
19.6	Nicht-homogenes und kontinuierliches BAM	221
19.7	Adaptives BAM	222
19.8	Diskussion des BAM	222
Kapitel 20	Radiale-Basisfunktionen-Netze (RBF-Netze)	225
20.1	Idee der RBF-Netze	225
20.2	Interpolation mit Zentrumsfunktionen.....	226
20.3	Interpolation mit Zentrumsfunktionen und Polynomen.....	228
20.4	Approximation mit Zentrumsfunktionen	230
20.5	Variationsrechnung zur Lösung des RBF-Approximationsproblems	231
20.6	Erweiterung und Abbildung auf neuronale Netze.....	234
20.6.1	Erweiterung auf mehrwertige Funktionen	234
20.6.2	Erweiterung um linearen Anteil	234
20.7	Hyper-Basisfunktionen-Netze (HBF-Netze).....	235
20.8	Iteratives Nachtraining der RBF- und HBF-Netze	236

20.9	Wahl der Zentren und Radien in RBF-Netzen.....	239
Kapitel 21	Probabilistische Neuronale Netze (PNN)	241
21.1	Die Bayes-Strategie zur Mustererkennung	241
21.2	Architektur der Probabilistischen Neuronalen Netze	244
21.3	Lernverfahren des PNN	248
21.4	Geschwindigkeit und Generalisierungsleistung.....	249
21.5	Bewertung der Eigenschaften der PNNs.....	250
Kapitel 22	Adaptive Resonance Theory (ART).....	251
22.1	ART-1: Klassifikation binärer Eingabemuster	252
22.1.1	Überblick über die ART-1 Architektur	252
22.1.2	ART-1 Comparison Layer	253
22.1.3	ART-1 Recognition Layer	254
22.1.4	Verstärkungsfaktoren und Reset	255
22.1.5	Arbeitsweise von ART-1	255
22.1.6	Leistungsüberlegungen	258
22.1.7	Theoreme über ART-1.....	258
22.2	ART-2: Ein ART-Netzwerk für kontinuierliche Eingaben	259
22.2.1	Überblick über ART-2.....	259
22.2.2	Theorie von ART-2.....	261
22.2.3	ART-2 Erkennungsschicht	263
22.2.4	ART-2 Lernregeln	264
22.2.5	ART-2 Reset-Kontrolle	265
22.2.6	ART-2 Gewichtsinitialisierung	266
22.2.7	Wahl der Parameter bei ART-2	266
22.3	ART-2A: Eine optimierte Version von ART-2	268
22.4	ART-3: Modellierung der Neurotransmitter von Synapsen	270
22.5	ARTMAP: Überwachtes Lernen mit ART-Netzen.....	273
22.5.1	ARTMAP Netzarchitektur	273
22.5.2	ARTMAP Klassifikation	274
22.5.3	Mathematische Beschreibung von ARTMAP	276
22.6	Fuzzy ART	279
22.6.1	Fuzzy ART Algorithmus	280
22.6.2	Geometrische Interpretation von Fuzzy ART	282
Kapitel 23	Neocognitron.....	285
23.1	Netzwerkstruktur des Neocognitrons.....	285
23.1.1	S-Zellen.....	286
23.1.2	C-Zellen	286
23.2	Prozeß der Mustererkennung durch das Neocognitron.....	287

23.3	Prinzip der Erkennung deformierter Muster	288
23.4	Ein-/Ausgabecharakteristika einer S-Zelle	290
23.5	Unüberwachtes Lernen des Neocognitrons	291
23.6	Funktion der C-Zellen.....	292
23.7	Überwachtes Lernen des Neocognitrons	293
23.8	Neocognitron mit Selective-Attention-Mechanismus.....	296
Kapitel 24	Time-Delay-Netze (TDNN)	299
24.1	Überblick über Time-Delay-Netze.....	299
24.2	Aufbau von Time-Delay-Netzen.....	300
24.3	Backpropagation für TDNNs	302
24.3.1	Herleitung von Backpropagation für TDNNs.....	303
24.3.2	Beschleunigung des Backpropagation-Algorithmus für TDNNs	306
24.4	Hierarchische TDNNs.....	308
24.5	Multi-State TDNNs.....	309
24.6	TDNN-Architekturen für mehrere Sprecher.....	313
24.7	Automatische Strukturoptimierung von MS-TDNNs.....	316
Kapitel 25	Verfahren zur Minimierung von Netzen	319
25.1	Verschiedene Ansätze zur Verkleinerung von Netzen.....	319
25.2	Weight Decay	320
25.3	Löschen der betragsmäßig kleinsten Gewichte.....	320
25.4	Optimal Brain Damage (OBD)	320
25.5	Optimal Brain Surgeon (OBS).....	322
25.6	Skelettierung	328
25.7	Kostenfunktion für die Gewichte verdeckter Zellen.....	330
25.8	Kostenfunktion für die Ausgaben verdeckter Neuronen.....	332
25.9	Vergleich der Verfahren zur Minimierung von Netzen	333
Kapitel 26	Adaptive Logische Netze (ALN)	335
26.1	Idee der Adaptiven Logischen Netze	335
26.2	Aufbau eines Adaptiven Logischen Netzwerks	336
26.3	Generalisierung in Adaptiven Logischen Netzen	338
26.4	Lernverfahren für Adaptive Logische Netze.....	339
26.5	Topologieänderung während des Lernens	340
26.6	Lazy Evaluation und Simulationsgeschwindigkeit bei ALNs	342
26.7	Verarbeitung kontinuierlicher Eingabemuster	342

Teil III	Simulationstechnik Neuronaler Netze.....	347
Kapitel 27	Software-Simulatoren neuronaler Netze.....	349
27.1	NeuralWorks Professional II/Plus.....	349
27.2	BrainMaker	352
27.3	Nestor Development System.....	352
27.4	ANSim und ANSpec	352
27.5	NEURO-Compiler	353
27.6	NEUROtools.....	354
27.7	SENN++.....	355
27.8	Die PDP-Simulatoren.....	355
27.9	RCS (Rochester Connectionist Simulator)	356
27.10	Neural Shell	357
27.11	LVQ-PAK und SOM-PAK	358
27.12	Pygmalion	359
27.13	SNNS (Stuttgarter Neuronale Netze Simulator).....	361
27.14	SESAME.....	364
27.15	NeuroGraph.....	366
27.16	UCLA-SFINX.....	368
27.17	PlaNet.....	369
27.18	Aspirin/MIGRAINES	372
27.19	FAST	374
27.20	VieNet2	375
27.21	Xerion	375
27.22	GENESIS	377
27.23	MUME	377
27.24	MONNET	378
27.25	Galatea	378
27.26	ICSIM	379
Kapitel 28	Der Stuttgarter Neuronale Netze Simulator (SNNS)	381
28.1	Stuttgarter Neuronale Netze Simulator	381
28.1.1	Geschichte des SNNS	381
28.1.2	Struktur von SNNS	383
28.1.3	Unterstützte Architekturen und Leistung	384
28.2	Simulatorkern von SNNS	384
28.3	Graphikoberfläche von SNNS.....	387
28.3.1	2D-Visualisierung von Netzen.....	387
28.3.2	Der Netzwerk-Editor.....	389
28.3.3	3D-Netzwerk-Visualisierung	389
28.4	Netzwerkbeschreibungssprache Nessus.....	389

28.4.1	Die Sprache Nessus.....	389
28.4.2	Beispielprogramm.....	390
28.4.3	Nessus-Compiler.....	390
28.5	Werkzeuge zur Analyse von Netzen	391
28.6	Von SNNS unterstützte konnektionistische Modelle	391
28.7	Parallele Simulatorkerne für den Parallelrechner MasPar MP-1	394
28.8	Batch-Version und Laufzeitversion.....	394
28.9	Einige Anwendungen von SNNS	394
28.10	Projektmitarbeiter und Bezugsquelle	397
Kapitel 29	Visualisierungstechniken neuronaler Netze	399
29.1	Wozu Visualisierungstechniken neuronaler Netze?	399
29.2	Techniken zur Visualisierung der Netztopologie	399
29.2.1	Zweidimensionale Visualisierung der Netzstruktur	400
29.2.2	Dreidimensionale Projektion der Netzstruktur	400
29.2.3	Stereo-3D-Visualisierung der Netzstruktur.....	403
29.3	Techniken zur Visualisierung von Gewichten	404
29.4	Techniken zur Visualisierung des zeitlichen Verhaltens von Netzen	405
29.4.1	Fehlerkurven des Lernfehlers	405
29.4.2	Trajektorien der Ausgaben bei rekurrenten Netzen	406
29.5	Techniken zur Visualisierung selbstorganisierender Karten	407
29.5.1	Selbstorganisierende Karten als Gitternetze	407
29.5.2	Vektor-Lagekarten.....	408
Kapitel 30	Leistungsmessung Neuronaler Netze	413
30.1	Einführung, Problemstellung	413
30.1.1	Unterscheidung: Lernverfahren, Netzsimulatoren, Neurocomputer.....	413
30.1.2	Das Chaos der Maßeinheiten	414
30.1.3	Was will man überhaupt messen?	415
30.2	Leistungsmessung von Lernverfahren	416
30.2.1	Verschiedenartigkeit der Lernverfahren.....	417
30.2.2	Vergleich der Lernverfahren für mehrstufige Feedforward-Netze.....	418
30.2.3	Benchmarks für Lernverfahren	420
30.3	Leistungsmessung von Netzwerksimulatoren.....	424
30.3.1	Problem unterschiedlicher Hardware und Software	424
30.3.2	Unterschiedliche Implementierung der Lernverfahren.....	425
30.3.3	Weitere Einflußfaktoren auf die Messungen.....	425
30.4	Leistungsmessung bei Parallelrechnern und Neurocomputern.....	425
30.4.1	Leistungsmessung neuronaler Netze auf SIMD-Parallelrechnern	426
30.4.2	Leistungsmessung neuronaler Netze auf MIMD-Parallelrechnern.....	427
30.4.3	Leistungsmessung neuronaler Netze auf Neuro-Chips.....	428

30.4.4	Leistungsmessung neuronaler Netze auf VLSI-Neurocomputern	429
30.5	Mangelnde Vergleichbarkeit der Implementierungen.....	430
Kapitel 31	Simulation Neuronaler Netze auf SIMD-Parallelrechnern	431
31.1	Arten der Parallelität in vorwärtsgerichteten neuronalen Netzen	432
31.2	Massiv parallele SIMD-Rechner.....	434
31.2.1	Connection Machine CM-2.....	434
31.2.2	MasPar MP-1	435
31.2.3	MasPar MP-2	437
31.2.4	AMT DAP.....	437
31.3	Implementierungen von Backpropagation auf SIMD-Rechnern	438
31.4	Kantenparallele, Gitterbasierte Implementierung.....	438
31.5	Listenbasierte Implementierung.....	440
31.6	Trainingsmuster-parallele Implementierungen	441
31.7	Matrix-Algebra-basierte Implementierungen	442
31.8	Die Implementierung von Zhang	443
31.9	Erste parallele Implementierung für die MasPar MP-1	445
31.10	Zweite Knoten- und Trainingsmuster-parallele Implementierung.....	447
31.11	Eine kantenparallele Implementierung für die MasPar MP-1	448
31.12	Vergleich der parallelen Implementierungen auf SIMD-Rechnern	449
Kapitel 32	Neurocomputer-Architekturen	451
32.1	Kriterien für Neurocomputer-Architekturen.....	451
32.2	Koprozessoren für neuronale Netze.....	453
32.2.1	HNC ANZA Plus	453
32.2.2	TI ODYSSEY	453
32.2.3	SAIC SIGMA-1	453
32.2.4	NeuraLogix ADS420	453
32.2.5	COKOS	454
32.2.6	Nestor/Intel Ni1000 Recognition Accelerator	454
32.3	Neurocomputer aus Standardbausteinen.....	456
32.3.1	TRW Mark III	456
32.3.2	TRW Mark IV	456
32.3.3	ICSI RAP (Ring Array Processor)	456
32.3.4	Fujitsu Neurocomputer	458
32.3.5	MUSIC-System der ETH Zürich (1992).....	459
32.4	VLSI-Neurocomputer	462
32.4.1	HNC SNAP.....	462
32.4.2	Adaptive Solutions CNAPS	463
32.4.3	Siemens SYNAPSE-1.....	466
32.4.4	Connectionist Network Supercomputer CNS-1	470

32.5	Ein Simulatorkern von SNNS auf dem Neurocomputer CNAPS	472
Kapitel 33	VLSI-Neuro-Chips.....	477
33.1	Klassifikation von Neuro-Chips.....	477
33.2	Digitale VLSI-Chips für neuronale Netze	478
33.2.1	Adaptive Solutions CNAPS-1064 Chip.....	478
33.2.2	Siemens MA16.....	480
33.2.3	Nestor/Intel Ni1000	482
33.2.4	ICSI CNS-1 Torrent	484
33.2.5	NeuraLogix NLX420	486
33.2.6	WSI-Neurocomputer von Hitachi	487
33.3	Analoge VLSI-Chips für neuronale Netze.....	487
33.3.1	AT&T Chips	487
33.3.2	Bellcore Chip	488
33.3.3	Intel ETANN (N10)	488
33.3.4	Weitere analoge VLSI-Neuro-Chips	491
Teil IV	Anwendungen neuronaler Netze	493
Kapitel 34	Prognose des Intensitätsverlaufs eines NH₃-Lasers.....	495
34.1	Trainings- und Testdaten des Laser-Prognoseproblems.....	495
34.2	Auswahl einer Netzwerkarchitektur	497
34.3	Ergebnisse der Prognose der Laserintensität	498
Kapitel 35	Ähnlichkeitsanalyse biologisch aktiver Moleküle	501
35.1	Einführung und Motivation.....	501
35.2	Wichtige Eigenschaften selbstorganisierender Karten.....	502
35.3	Abbildung der 3D-Oberfläche von Molekülen auf einen 2D-Torus	503
35.4	Selbstorganisierende Karten auf Parallelen SIMD-Computern	505
35.5	Selbstorganisierende Oberflächen (self-organizing surfaces, SOS)	506
35.6	Dynamische Änderung der Netzwerktopologie.....	507
35.7	Abbildung von Moleküloberflächen auf die Oberfläche einer Kugel.....	508
Kapitel 36	Bahnregelung in Ringbeschleunigern und Speicherringen.....	511
36.1	Problemstellung	511
36.2	Mathematische Beschreibung des Problems der Bahnkorrektur	512
36.3	Bahnkorrektur mit neuronalen Netzen	514
36.4	Implementierung mit SNNS	515
36.5	Bewertung der Ergebnisse	517
Kapitel 37	Texturanalyse mit neuronalen Netzen.....	519
37.1	Texturen und Texturmerkmale	520

37.2	Texturanalyse mit neuronalen Netzen.....	522
37.3	Verbesserungen des Verfahrens.....	527
37.4	Qualitätskontrolle von Natursteinplatten	528
37.5	Bewertung	530
Kapitel 38	Prognose der Sekundärstruktur von Proteinen.....	533
38.1	Einführung	533
38.2	Der Ansatz von Quian und Sejnowski	536
38.3	Partiell rekurrente Netze zur Vorhersage der Proteinstruktur	538
38.4	Vergleich der Verfahren	539
Kapitel 39	Steuerung autonomer Fahrzeuge mit neuronalen Netzen	541
39.1	ALVINN.....	543
39.1.1	Erste Version von ALVINN	543
39.1.2	Zweite Version von ALVINN.....	546
39.2	VITA und OSCAR	547
39.2.1	Erste Version des neuronalen Reglers von OSCAR	549
39.2.2	Zweite Version des neuronalen Reglers von OSCAR.....	550
39.2.3	Ergebnisse der Simulationen und der Testfahrten mit OSCAR	551
Teil V	Ausblick	555
Kapitel 40	Ausblick	557
40.1	Weitere aktuelle Forschungsthemen	557
40.1.1	Komplexitätstheorie neuronaler Netze	557
40.1.2	Hierarchischer Aufbau neuronaler Netze.....	560
40.1.3	Neuronale Regler (Neural Control)	562
40.1.4	Neuronale Netze und Fuzzy-Logik.....	563
40.1.5	Neuronale Netze und Evolutionsalgorithmen.....	566
40.2	Weitere aktuelle Anwendungsbereiche neuronaler Netze.....	569
40.2.1	Neuronale Netze in der Robotik	569
40.2.2	Spracherkennung mit neuronalen Netzen	570
40.2.3	Gesichtserkennung mit neuronalen Netzen	571
40.3	Ausblick	573
Literatur	575
Stichwortverzeichnis	609