

Simulation neuronaler Netze

von
Professor Dr. Andreas Zeil
Universität Tübingen

R. Oldenbourg Verlag München Wien

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 funktioneil differenzierte Bereiche.....	66
4.7.2	Lage funktioneil 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	Hebbsche 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	Schrittfunktion.....	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	Fiat-Spot Elimination.....	116
9.3	WeightDecay.....	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 rekurrente 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 Rekurrente 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	Bidirektionaler 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	FuzzyART.....	279
	22.6.1	FuzzyART 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	WeightDecay.....	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 H/Plus.....	349
27.2	BrainMaker.....	352
27.3	Nestor Development System.....	352
27.4	ANSimundANSpec.....	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-PAKundSOM-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 Nensus.....	389
28.4.2	Beispielprogramm.....	390
28.4.3	Nensus-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	AMTDAP.....	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	SAICSIGMA-1.....	453
32.2.4	NeuraLogixADS420.....	453
32.2.5	COKOS.....	454
32.2.6	Nestor/Intel NilOOO Recognition Accelerator.....	454
32.3	Neurocomputer aus Standardbausteinen.....	456
32.3.1	TRW Mark ffl	456
32.3.2	TRW Mark IV.....	456
32.3.3	ICSIRAP (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	HNCSNAP.....	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 NilOOO.....	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&TChips.....	487
	33.3.2	BellcoreChip.....	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	ALVTNN.....	543
39.1.1	Erste Version von ALVTNN.....	543
39.1.2	Zweite Version von ALVTNN.....	546
39.2	VTTAund 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
TeilIV	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