

Heuer

Neuronale Netze in der Industrie

GABLER EDITION WISSENSCHAFT

Jürgen Heuer

Neuronale Netze in der Industrie

Einführung – Analyse –
Einsatzmöglichkeiten

Mit einem Geleitwort
von Prof. Dr. Otto Rosenberg

DeutscherUniversitätsVerlag

Heuer, Jürgen:

Neuronale Netze in der Industrie : Einführung -
Analyse - Einsatzmöglichkeiten / Jürgen Heuer.

Mit einem Geleitw. von Otto Rosenberg.

- Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl. ; Wiesbaden : Gabler, 1997
(Gabler Edition Wissenschaft)

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 1996

Der Deutsche Universitäts-Verlag und der Gabler Verlag sind Unternehmen der Bertelsmann Fachinformation.

Gabler Verlag, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden

© Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden 1997

Lektorat: Claudia Splittgerber / Marcus Weber



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Höchste inhaltliche und technische Qualität unserer Produkte ist unser Ziel. Bei der Produktion und Auslieferung unserer Bücher wollen wir die Umwelt schonen: Dieses Buch ist auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Geleitwort

Die Steuerung produktionswirtschaftlicher Aktivitäten stößt nicht zuletzt deshalb auf Schwierigkeiten, weil die steuerungsrelevanten Parameter sich im Zeitablauf ständig ändern. Der zeitliche Aufwand zur Berechnung zielorientierter Anpassungsmaßnahmen ist im allgemeinen sehr viel größer als die zur Verfügung stehende Reaktionszeit. Seit Beginn der 90er Jahre versucht man insbesondere auch durch die Entwicklung und den Einsatz von neuronalen Netzen zur Lösung derartiger Probleme beizutragen. Die vorliegende Arbeit stellt derartige Ansätze zur Lösung von Diagnose-, Prognose- und Steuerungsproblemen dar und entwickelt Konzepte, wie neuronale Netze zur Lösung spezifischer Probleme aus der Logistik, der Fertigungssteuerung und der Materialwirtschaft eingesetzt werden können.

Von den der Logistik zuzurechnenden Problemfeldern erscheint dem Autor vor allem die tägliche Planung von Touren zur Auslieferung der Endprodukte an die Kunden mit Hilfe von neuronalen Netzen vorteilhaft. Zur Lösung dieses Problems und verschiedener Teilprobleme werden neuronale Ansätze entwickelt bzw. referiert. Stärken und Schwächen alternativer Lösungskonzepte werden abschließend zusammenfassend gegenübergestellt.

Mit der kurzfristigen Personaleinsatzplanung und der Auftragsreihenfolgeplanung werden zwei praxisrelevante Teilgebiete der Fertigungssteuerung herausgegriffen. Der Autor untersucht allgemein, inwieweit Lösungen für derartige Steuerungsprobleme mit neuronalen Ansätzen vorteilhaft auf Hardware- oder Software-Basis ermittelt werden können.

Schließlich werden als wesentliche materialwirtschaftliche Einsatzgebiete für neuronale Netze die Prognose des Materialbedarfs und die Strukturierung der Materialflüsse angesehen und behandelt.

Die Arbeit enthält für die angesprochenen Themenkomplexe eine umfassende Darstellung neuronaler Ansätze. Diese werden zudem anhand von Kriterien wie Wirtschaftlichkeit, Umstellungsaufwand, Betriebssicherheit und Integrierbarkeit praxisorientiert beurteilt. Weiterentwicklungs- und bertragungsmöglichkeiten werden kenntnisreich aufgezeigt.

Professor Dr. Otto Rosenberg
Lehrstuhl Produktionswirtschaft
Universität-Gesamthochschule Paderborn

Vorwort

Mit dieser Promotionsschrift wird die Frage beantwortet, inwieweit künstliche neuronale Netze für den Einsatz im operativen Rahmen der Datenverarbeitung eines Fertigungssystems geeignet sind.

Während der Bearbeitung des Themas wurde mir die Notwendigkeit bewußt, vor der Beantwortung dieser Fragestellung eine gemeinsame Sprachbasis zu schaffen, um die unterschiedlichen Ausdruckswelten von Ingenieuren, Informatikern und Betriebswirtschaftlern auf einen Nenner zu bringen. Diese Aufgabe wird im ersten Teil der Arbeit erfüllt. Die nachfolgenden drei Teile gehen die eigentliche Aufgabenstellung mit unterschiedlichen Abstrahierungsgraden an.

Im zweiten Teil wird die Integration Neuronaler Netze in bestehende Datenverarbeitungsansätze betrachtet. Hier ergeben sich besondere Anforderungen, die durch den massiv-parallelen Verarbeitungsmodus dieser Netze entstehen. Es wird eine abstrakte Grundstruktur eines Arbeitssystems entwickelt, die die Integration neuronaler Techniken vereinfacht. In den sich anschließenden drei Kapiteln werden die drei Hauptanwendungsgebiete der Optimierung, Diagnose & Prognose und des Messen, Steuern, Regels voneinander abgegrenzt. Dazu wird für jeden Bereich ein Überblick über die möglichen neuronalen Mechanismen erstellt.

Der dritte Teil beschreibt Lösungsverfahren für die Bereiche Logistik, Fertigungssteuerung und Materialwirtschaft. Dabei werden mehrere, über die zuvor beschriebenen bestehenden Ansätze hinausgehende Netzwerke entwickelt und getestet. Spezieller Augenmerk lag dabei auf dem Echtzeit- oder Nahe-Echtzeitcharakter der Anwendungssituation.

Der vierte Teil ist eine Bestandsaufnahme der bisher realisierten Implementierungen Neuronaler Netze in Arbeitssystemen. Dieser Teil ist Bestandteil der Promotionsschrift, da die theoretische Basis für den Einsatz Neuronaler Netze noch sehr „dünn“ ist. Viele der geschilderten Verfahren entstanden aus Experimenten auf „trial-and-error“ Basis. Der Nutzen, der durch die Vermeidung bereits von anderen erkannten Fehlern bei der Implementierung neuer Verfahren entsteht, ist daher sehr groß. Aus diesem Grund halte ich eine Zusammenfassung erfolgreicher Implementationen nicht nur für hilfreich, sondern beim aktuellen Erfahrungsstand mit Neuronalen Netzen für notwendig.

Ich danke meinen Eltern für ihre Unterstützung und meinem Doktorvater Herrn Professor Rosenberg für seinen Ansporn. Spezieller Dank geht an Frau Karola Schindler, ohne deren sorgfältige Durcharbeitung der Scriptvorlagen meine Promotion wesentlich länger gedauert hätte.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Verzeichnis der Abbildungen XVII

Verzeichnis der Tafeln XXI

I Grundlagen 1

1	Grundsätzliches über Neuronen	7
1.1	Das gewisse Etwas	7
1.2	Das Neuron	7
1.2.1	Der Aktivierungszustand	9
1.2.2	Der Informationsflußzum Neuron	9
1.2.3	Die Operation innerhalb des Neurons	12
1.2.4	Informationen für die Umwelt	12
1.3	Das Neuronale Netz	12
1.3.1	Das Netz und seine Umwelt	14
1.3.2	Strukturen Neuronaler Netze	14
1.4	Lernen und Verarbeiten	16
1.4.1	Lernen	16
1.4.2	Verarbeiten	18
1.5	Ausgewählte Netzwerktypen	19
1.5.1	Vorwärtsgerichtete Netze	19
1.5.2	Rückgekoppelte Netze	22
1.5.3	Categorization and learning modular: CALM	28
1.6	Der Entwurf eines Neuronalen Netzes	31
1.6.1	Problemanalyse	32
1.6.2	Modellformulierung	33
1.6.3	Topologieentscheidung	34
1.6.4	Festlegung des Lerngesetzes	35
1.6.5	Implementierung und Trainieren	35
1.6.6	Testen und evtl. Falsifizieren	35
1.6.7	Einsatz und Wartung	35

1.7	Grundlagen zur Neuro-Simulation	36
1.7.1	NeuroHardware	36
1.7.2	One-Purpose-Simulatoren	37
1.7.3	Multi-Purpose-Simulatoren	37
1.7.4	Abarbeitungsverfahren	38
1.8	Hybride Strukturen	38
1.8.1	Das System IRIS	39
1.8.2	Stufen der Zusammenarbeit	40
2	Grundlagen der Fertigung	45
2.1	Grundlegende Ziele	45
2.1.1	Qualität aus Überzeugung	46
2.1.2	Termintreue als strategischer Faktor	46
2.1.3	Flexibilität als Wettbewerbsvorteil	47
2.1.4	Kostenminimierung als ständiges Ziel	47
2.2	Führungsstrukturen in der Fertigung	47
2.2.1	Innerhalb eines Unterbereichs	48
2.2.2	Die Unterbereiche untereinander	48
2.3	Die kontinuierliche Fertigung	49
2.4	Strategien zur Organisation diskontinuierlicher Fertigung	49
2.4.1	Arbeitsgangorientierte Fertigungsorganisation	50
2.4.2	Arbeitsgangfolgeorientierte Fertigungsorganisation	50
2.4.3	Aufgaben in der Fertigung	50
2.4.4	Spezielle Aufgaben in der Werkstattfertigung	52
2.4.5	Spezielle Aufgaben in der Fließfertigung	53
2.4.6	Ordnungsparadigmen	53
2.5	Auswirkungen der Datenverarbeitung	55
2.5.1	Die "supervisory control" eines Fertigungssystems	56
2.5.2	Die schlanke Fertigung	58
2.5.3	Die prozessorientierte Sicht des Fertigungssystems	59
3	Ökonomische Überlegungen zum Einsatz Neuronaler Netze in Fertigungssystemen	63
3.1	Einsatzkriterien für Neuronale Netze in Fertigungssystemen	63
3.1.1	Wirtschaftlichkeit Neuronaler Netze	64
3.1.2	Umstellungsaufwand bei der Verwendung Neuronaler Netze	65
3.1.3	Betriebssicherheit Neuronaler Netze	66
3.1.4	Integrierbarkeit Neuronaler Netze	67
3.2	Ökonomisch interessante Eigenschaften eines künstlichen Neuronalen Netzes	67
3.2.1	DV-begründete Positiva	67
3.2.2	Stärken Neuronaler Netze	68
3.2.3	Schwächen Neuronaler Netze	69

3.3	Einsatzgrundvoraussetzungen	70
3.3.1	Investitionsschutz	70
3.3.2	Entwicklungseinstiege	71
3.3.3	Plattformen	71
3.3.4	Schnittstellen	72
3.4	Mögliche lohnende Einsatzgebiete	72
3.5	The Real World Computing Program	73

II Das neuronal unterstützte Arbeitssystem und seine grundlegenden Werkzeuge 77

4	Das neuronal unterstützte Arbeitssystem	85
4.1	Der Begriff des Arbeitssystems	85
4.1.1	Der CIM-Leitstand nach Scheer	86
4.1.2	Typen von Arbeitssystemen	87
4.1.3	Der Mensch im Arbeitssystem	89
4.2	Die Auftragsverwaltung im Arbeitssystem	90
4.2.1	Aufträge in einem Arbeitssystem	90
4.2.2	Die Auftragspools	93
4.3	Die Ausgestaltung eines neuronal orientierten Arbeitssystems	94
4.3.1	Die Hardware eines neuronal unterstützten Arbeitssystems	95
4.3.2	Die Software eines neuronal unterstützten Arbeitssystems	98
4.3.3	Die Frage der Ausfallsicherheit	102
4.3.4	Das „erfahrene“ Arbeitssystem	103
4.4	Die beiden neuronalen Arbeitssystemtypen	104
4.4.1	Der neuronale Leitstand	104
4.4.2	Die neuronale Bearbeitungsstation	109
4.5	Grundlegende Einsatzgebiete	112
5	Neuronale Optimierungssysteme	115
5.1	Die Optimierung mittels dynamischer Programmierung	116
5.2	Optimierung durch genetische Programmierung	116
5.2.1	Die Beurteilung von Individuen	117
5.2.2	Genetische Verfahren in Netzen zur Optimierung	118
5.2.3	Der Gebrauch von Multiplexing	119
5.3	Optimierung mittels einer globalen Energiefunktion	119
5.3.1	Der Ansatz des originalen Hopfield-Netzes	120
5.3.2	Hopfield-Optimierer mit geänderten Abstiegsverfahren	122
5.3.3	Hopfield-Netze mit hybrider Struktur	125
5.3.4	Hopfield-Netze für Optimierungsprobleme höherer Ordnung	126
5.3.5	Topologievarianten für Hopfield-Optimierer	126

5.4	Optimierung durch Lernen	127
5.4.1	Optimierung mittels Kohönen-Netzen	128
5.4.2	Optimierung durch Interaktion	130
5.4.3	Optimierung durch Erfahrung	131
5.4.4	Optimierung durch lernende Cluster	134
5.5	Optimierung über Agenten	135
5.6	Fazit	136
5.6.1	Optimierung auf seriellen Rechnern	137
5.6.2	Optimierung mit paralleler Hardware	138
5.6.3	Optimierung mit NeuroHardware	138
5.6.4	Bedienerfreundlichkeit	139
6	Diagnose und Prognose mit Neuronalen Netzen	143
6.1	Die neuronale Diagnose	143
6.1.1	Diagnoseziele	143
6.1.2	Einsatzvarianten	144
6.1.3	Topologien in der Diagnose	145
6.1.4	Datenaufbereitung	154
6.1.5	Hybride Diagnosesysteme	155
6.2	Grundzüge der neuronalen Prognostik	155
6.2.1	Die Prognose von Zuständen	156
6.2.2	Die Prognose von Zeitreihen	159
6.2.3	Delphi-Prognosen	160
6.2.4	Grenzen der Prognose	160
7	Messen, Steuern, Regeln	165
7.1	Adaptive Neuronale Überwachung und Steuerung	166
7.1.1	Die Prozeßüberwachung	166
7.1.2	Die Prozeßkontrolle	168
7.1.3	Hybride Kontrollsysteme	173
7.2	Neuronales Messen	175
7.2.1	Der „Intelligente Sensor“	176
7.2.2	Die Aufgabenstruktur des Messens	177
7.2.3	Die neuronale Daten-Aufbereitung	177
7.2.4	Die Daten-Analyse	183
7.2.5	Die Daten-Interpretation	185
7.2.6	Aufmerksame Sensorik	185
7.2.7	Das Sensorlogbuch	185
7.3	Neuronal geregelte Aktoren	186
7.3.1	Tätigkeiten eines Aktors	187
7.3.2	Das Konzept des Prozeßatoms	187
7.4	Das Steuern von Aktivitäten	189
7.4.1	Der maschinelle Reflex	190
7.4.2	Die bewußte Handlung	191
7.4.3	Die planerischen Aktivitäten	193

III	Neuronal orientierte dispositive Arbeitssysteme	197
8	Der neuronal-unterstützte logistische Prozeß	207
8.1	Der Logistik-Leitstand	207
8.1.1	Kennzeichen einer „guten Logistik“	207
8.1.2	Eine prozeßorientierte Darstellung	208
8.1.3	Der logistikorientierte Planungsprozeß zur Auftragsbearbeitung	209
8.1.4	Neuronale Werkzeuge des Disponenten	211
8.2	Die Auftragseinplanung	211
8.2.1	Relevante Eigenschaften der Aufträge	211
8.2.2	Optimierung mittels genetischer Algorithmen	214
8.2.3	Massiv-parallele Optimierung	219
8.3	Die Packplanung	222
8.3.1	Die Eingabedaten	223
8.3.2	Die Konstruktion der Indikator- und Packnetze	225
8.3.3	Virtuelles Packen	226
8.4	Die Tourenplanung	227
8.4.1	Bekannte Lösungsansätze	228
8.4.2	Erweiterte Lösungsansätze	237
9	Neuronal unterstützte Fertigungssteuerung	263
9.1	Der Leitstand zur Fertigungssteuerung	263
9.1.1	Grundlegende Überlegungen	264
9.1.2	Aufgaben des Leitstandes	265
9.1.3	Der Aufbau des Fertigungsleitstandes	268
9.2	Die Bestimmung des Fertigungsbudgets	270
9.2.1	Die Identifizierung kritischer Arbeitssysteme	270
9.2.2	Die Bestimmung des Kapazitätsprofils	272
9.3	Die Ermittlung und Interpretation der Fertigungslage	272
9.3.1	Begriffsbestimmung	273
9.3.2	Die diagnostische Bestimmung der Fertigungslage	273
9.3.3	Die Nutzung der Fertigungslage zur Prognose	275
9.4	Einsatzplanung für Werker	277
9.4.1	Die bisherigen neuronalen Lösungen	277
9.4.2	Ein vernetzter Ansatz	279
9.5	Reihenfolgeplanung	282
9.5.1	Die Parameter der Reihenfolgeplanung	282
9.5.2	Bekannte neuronale Ansätze	284
9.5.3	Ein teil-paralleler Ansatz	289
9.5.4	Eine massiv-parallele Lösung	299
9.5.5	Vergleich der beiden Ansätze	304

10	Materialwirtschaft mit neuronalen Werkzeugen	307
10.1	Das Leitstandskonzept der Materialwirtschaft	307
10.1.1	Der materialwirtschaftliche Beschaffungsprozeß	308
10.1.2	Der Bereitstellungsprozeß	310
10.2	Prognose des Materialbedarfs	310
10.2.1	Vorbemerkungen	312
10.2.2	Die Prognose des Absatzes	314
10.2.3	Die Prognose der Fertigung	316
10.2.4	Die Gesamtprognose	316
10.3	Die Qualitätssicherung im Wareneingang	316
10.3.1	Die Ausgestaltung des Diagnose-AS	317
10.3.2	Die Netzkonstruktion zur Diagnose	318
10.4	Organisation von Lagerung und Materialfluß	319
10.4.1	Neuronale Organisation von Materialflüssen nach PARUNAK	320
10.4.2	Lagertätigkeiten	322
10.5	Autonome innerbetriebliche Transportsysteme	324
10.5.1	Die Steuerung des AGVs	325
10.5.2	Ausnutzung der Transportzeit	338
10.5.3	Die Organisation der AGV für den Materialfluß	339
10.6	Das Packen von Stückgut	344
10.6.1	Die vorhandene Datenbasis	344
10.6.2	Bekannte Ansätze	345
IV	Neuronal orientierte wertschöpfende Arbeitssysteme	355
11	Die neuronal-orientierte Bearbeitungsstation in der Prozeßfertigung	359
11.1	Die neuronale Steuerung von Fertigungsprozessen	359
11.1.1	Neuronale Netze in der Kontrolle chemischer Prozesse	359
11.1.2	Die Steuerung nicht-chemischer Prozesse	361
11.2	Aufgaben Neuronaler Netze bei versorgenden Prozessen	363
11.2.1	Kontrollmechanismen bei kritischen Systemen	363
11.2.2	Dispositive Vorgänge	366
11.3	Fehlererkennung und Ausfallprognosen	370
11.3.1	Die Interpretation von Vibrationen	372
11.3.2	Die Prognose von Ausfällen	373

12 Der Einsatz Neuronaler Netze in Bearbeitungsstationen der diskreten Fertigung	377
12.1 Neuronale Robotersteuerung	377
12.1.1 Die Steuerung von Aktoren	379
12.1.2 Werkstückhandling	385
12.1.3 Die Anpassung an mechanische Defizite	394
12.1.4 Zusammenwirken mehrerer Roboter	396
12.2 Automatische Qualitätskontrollen durch Neuronale Netze	396
12.2.1 Qualitätsverantwortung	398
12.2.2 Testing While Manufacturing	398
12.2.3 Testing After Manufacturing	400
13 Zusammenfassung und Fazit	415

Anhänge

A NeuroSimulation und das Simulationssystem Nemesis	421
A.1 Die Simulation neuronaler Netze	421
A.1.1 Iterationsphasen	422
A.1.2 Der DV-orientiert dargestellte Aufbau eines Neurons	422
A.1.3 Die Kommunikation mit dem Netzwerk	423
A.1.4 Angepaßte Zahlenformate	423
A.2 Die Beschreibungssprache SING	424
A.2.1 Grundlegende Klassen	424
A.2.2 Aufbau und Simulation eines Neuronalen Netzes	427
A.3 Das Simulationssystem NEMESIS	427
A.3.1 Die Konstruktion von Neuronalen Netzen	429
A.3.2 Die Simulation Neuronaler Netze unter WOMEN	431
Nomenklatura	433
Abkürzungen	437
Allgemeine Abkürzungen	438
Abkürzungen für das Literaturverzeichnis	441
Schlagwortverzeichnis	503

Verzeichnis der Abbildungen

Teil I:

Grundlagen 1

Kapitel 1: Grundsätzliches über Neuronen 7

- 1.1 Der Aufbau eines Neurons 8
- 1.2 Beispiele für Transferfunktionen 13
- 1.3 Ein Adaline 19
- 1.4 Ein Perceptron 20
- 1.5 Ein MLP 22
- 1.6 Ein Hopfield-Netzwerk 23
- 1.7 Eine Boltzman-Maschine 25
- 1.8 Ein CALM-Modul 28
- 1.9 Die IRIS-Architektur 40
- 1.10 Die Integrationsebenen eines hybriden Systems nach MEDSKER 40

Kapitel 2: Grundlagen der Fertigung 45

- 2.1 Der idealisierte Gesamtprozeßdes Fertigungssystems 61

Kapitel 3: Ökonomische Überlegungen zum Einsatz Neuronaler Netze in Fertigungssystemen 63

- 3.1 Die Organisationsstruktur des Real World Computing Programs 74

Teil II:

Das neuronal unterstützte Arbeitssystem und seine grundlegenden Werkzeuge 77

Kapitel 4: Das neuronal unterstützte Arbeitssystem 85

- 4.1 Der „Leitstand“ nach SCHEER 87
- 4.2 Ein Meta-System nach RAO et al. 94
- 4.3 Die Schichtenstruktur des neuronal orientierten Arbeitssystems 95

Kapitel 5: Neuronale Optimierungssysteme	115
5.1 Ein Vergleichsmodul nach ZHAO	116
5.2 Ein Beispiel für ein Multiplexsignal	119
Kapitel 6: Diagnose und Prognose mit Neuronalen Netzen	143
6.1 Die Netztopologie und wesentliche Funktionen eines "pi-sigma-networks" .	149
Kapitel 7: Messen, Steuern, Regeln	165
7.1 Die Funktionen der Prozeßüberwachung	166
7.2 Adaptive Steuerungsmechanismen	170
7.3 Das Hierarchical Intelligent Control System nach FUKUDA et al.	174
7.4 Die Schichtenstruktur der neuronalen Sensorik	177
7.5 Die Struktur eines Netzes zur automatischen Pegelung	179
7.6 Pegelung eines verrauschten und schlecht modulierten Signals	181
Teil III:	
Neuronal orientierte dispositive Arbeitssysteme	197
Kapitel 8: Der neuronal-unterstützte logistische Prozeß	207
8.1 Der Logistikprozeß	209
8.2 Das Netzwerk zur Berechnung der Güte eines DAP	215
8.3 Beispiel für ein die Auftragseinplanung bewertendes Netz	217
8.4 Ein Beispiel für ein die Auftragseinplanung optimierendes Netz	220
8.5 Das Multiplexsignal des Kapazitätsneurons	246
8.6 Das Netz zur Bewertung eines genetisch kodierten Tourenplans	251
8.7 Das Netz zur Erstellung und Optimierung eines Tourenplans	257
Kapitel 9: Neuronal unterstützte Fertigungssteuerung	263
9.1 Der Fertigungsprozeß	266
9.2 Die serielle Netzstruktur der neuronalen Reihenfolgelösung	291
9.3 Beispiel für die massiv-parallele Reihenfolgeplanung	300
Kapitel 10: Materialwirtschaft mit neuronalen Werkzeugen	307
10.1 Informationsflußim materialwirtschaftlichen Prozeß	308
10.2 Der materialwirtschaftliche Beschaffungsprozeß	309
10.3 Der materialwirtschaftliche Bereitstellungsprozeß	311
10.4 Das Konzept des Transportsystems MONAMOVE nach GUTSCHE	326
10.5 Schematisches Modell der Informationsverarbeitung in einem AGV	329

Teil IV:**Neuronal orientierte wertschöpfende Arbeitssysteme 355****Kapitel 11: Die neuronal-orientierte Bearbeitungsstation in der Prozeßfertigung 359**

11.1 Das Metanetz des Vorhersageansatzes nach TANAKA et al. 375

Kapitel 12: Der Einsatz Neuronaler Netze in Bearbeitungsstationen der diskreten Fertigung 377

12.1 Das System zum Greifen bewegter Objekte nach TANAKA et al. 393

12.2 Schema eines Motorenprüfstandes nach LUTZ 401

Anhänge 419

Verzeichnis der Tafeln

Teil I:

Grundlagen	1
Kapitel 2: Grundlagen der Fertigung	45
2.1 Differences in Human Supervisory Control between Computerized Discrete Part und Process Manufacturing	57

Teil II:

Das neuronal unterstützte Arbeitssystem und seine grundlegenden Werkzeuge	77
Kapitel 4: Das neuronal unterstützte Arbeitssystem	85
4.1 Throughputbezogene Produktionstypen nach ZÄPFEL	110
Kapitel 5: Neuronale Optimierungssysteme	115
5.1 Vergleich der kritischen Merkmale der Optimierungsansätze	137
Kapitel 7: Messen, Steuern, Regeln	165
7.1 Die Datenaufbereitung zur Spracherkennung nach KOWALEWSKI	184

Teil III:

Neuronal orientierte dispositive Arbeitssysteme	197
Kapitel 8: Der neuronal-unterstützte logistische Prozeß	207
8.1 Der logistische Prozeßanhand eines Beispielauftrages	210
8.2 Die Energiefunktion des ursprünglichen Hopfield-Ansatzes für das TSP	229
8.3 Vorschlag einer TSP-Energiefunktion nach BRANDT et al.	230
8.4 Vorschlag einer TSP-Energiefunktion nach VAN DER BOUT et al.	230
8.5 TSP-Ansatz nach PELILLO	233
8.6 Die Energiefunktion für den MTSP-Ansatz nach WACHOLDER et al.	235
8.7 Der Ansatz zum MTSP nach VLIET	236

8.8	Virtuelle Kosten der operativen Logistik	243
8.9	Der operative Deckungsbeitrag der Logistik	244
8.10	Die Funktionen des \approx -Neurons	246
8.11	Die Kosten des Bewertungsneurons	248
8.12	Die Funktionen des Streckenzeitneurons	249
8.13	Die Funktionen des k^{\approx} -Neurons	249
8.14	Die Funktionen des Q -Neurons	250
8.15	Vergleich der bekannten Lösungsfamilien	261
Kapitel 9: Neuronal unterstützte Fertigungssteuerung		263
9.1	Die Aktivierungsfunktion des Werkerplanungs-Ansatzes nach POLIAC et al.	278
9.2	Vergleich der bekannten Ansätze zur neuronalen Reihenfolgeplanung	285
9.3	Die Terme der Energiefunktion nach GULATI	286
9.4	Erläuterungen zur seriellen Netzstruktur der neuronalen Reihenfolgelösung	292
9.5	Die Aktivierungsfunktion des FEZ-Neurons	296
9.6	Die Funktionen des μ -Neurons	301
9.7	Die Funktionen des FEZ-Neurons	302
9.8	Die Mechanismen des κ -Neurons	302
Kapitel 10: Materialwirtschaft mit neuronalen Werkzeugen		307
10.1	Der Pfadplanungsalgorithmus nach Hassoun	334
10.2	Die Energiefunktion des Pfadplanungsansatzes nach CAVALIERI et al. . . .	335
10.3	Der Navigationsansatz nach TANI et al.	337
10.4	Der binäre Plazierungsansatz nach URAHAMA et al.	352
10.5	Die gemischt-ganzzahlige Lösung nach URAHAMA et al.	353
10.6	Das wohldefinierte Packproblem nach HOUSE	354
Teil IV:		
Neuronal orientierte wertschöpfende Arbeitssysteme		355
Kapitel 11: Die neuronal-orientierte Bearbeitungsstation in der Prozeßfer-		
tigung		359
11.1	Die Funktionen des Economic Dispatch Neural Networks	369
11.2	Die Funktionen der Unit Commitment Boltzman-Machine	371
11.3	Der Aufbau der einzelnen Netze nach Tanaka et al.	374
Kapitel 12: Der Einsatz Neuronaler Netze in Bearbeitungsstationen der		
diskreten Fertigung		377
12.1	Topologievarianten in der Motorendiagnose nach LUTZ	402

Anhänge	419
Kapitel A: NeuroSimulation und das Simulationssystem Nemesis	421
A.1 Das Neuron in SING	425
A.2 Der Cluster in SING	426
A.3 Das neuronale Netzwerk in SING	427