

Gliederung

I	Einführung	13
1	Problemstellung und Gang der Untersuchung	13
2	Allgemeiner Betrachtungsrahmen	15
2.1	Modellbildung und Repräsentationsformen	15
2.1.1	Systembetrachtung	16
2.1.2	Repräsentationsformen	18
2.1.3	Modellbildung	22
2.1.3.1	Der Modellbegriff	22
2.1.3.2	Isomorphie und Homomorphie	24
2.1.3.3	Modellierung einer verteilten Repräsentation	31
2.1.3.4	Modellbildung und Selbstorganisation	33
2.2	Besondere Problematik der Modellbildung in Entscheidungsunterstützenden Systemen (EUS)	34
2.2.1	Risiko und Unsicherheit	35
2.2.2	Unschärfen	36
2.2.3	Unvollständigkeit	36
2.2.4	Fehlerhaftigkeit	37
2.2.5	Dynamik	38
2.2.6	Akzeptanz und Adäquanz eines EUS	38
2.3	Exploratorische und konfirmatorische Analysesysteme	39
2.4	Generelle Problemtypen, Modellierungsmöglichkeiten und Verfahrensansätze	40
2.4.1	Analytische Programmierverfahren des Operations Research	42
2.4.2	Heuristische Verfahren des Operations Research	43
2.4.3	Klassisch-statistische Verfahren	44
2.4.4	Logikbasierte Verfahren: Expertensysteme	46
2.4.5	Motivation für die Verwendung Neuronaler Netze	47
II	Grundlagen Neuronaler Netze	49
1	Aufbau, Arbeitsweise und Eigenschaften Neuronaler Netze	49
1.1	Entwicklung Neuronaler Netzwerk-Forschung, grundlegender Aufbau und Arbeitsweise Neuronaler Netze	49
1.2	Elemente und Relationen Neuronaler Netze	51
1.3	Architektur der Verbindungen, Struktur	53

1.4 Eingabe- und Aktivierungsfunktionen.....	55
1.5 Neuronale Netze als universale Approximierer	57
1.6 Parameter Neuronaler Netze, Transformation der Daten	59
1.7 Dimensionierung künstlich-neuronaler <i>feedforward</i> -Netze	61
1.8 Lernverfahren	65
1.8.1 Hebb'sches Lernen.....	66
1.8.2 Lernen durch Fehlerkorrektur	67
1.8.3 Lernen durch Verstärkung.....	71
1.8.4 Stochastisches Lernen	72
1.8.5 Kompetitives Lernen.....	73
1.8.6 Die Generalisierungsproblematik.....	74
1.8.6.1 Begriff der Generalisierung.....	74
1.8.6.2 Die Vapnik-Chervonenkis-Dimension	75
1.8.6.3 Overfitting und overlearning	76
1.8.6.4 Bestimmung einer geeigneten Zahl von Iterationen zur Vermeidung von overlearning-Effekten.....	77
1.8.6.5 "Robustes", stetiges und "gedämpftes" Verhalten Neuronaler Netze	78
1.8.6.6 Prototypenbildung und interne Clusterung von Eingabemustern	79
1.8.6.7 Abschließende Bemerkungen zur Generalisierungsproblematik.	80
1.9 Bedeutung der Auswahl und Aufteilung der Trainings-, Test- und Validierungsdaten.....	81
1.10 Taxonomie künstlich-neuronaler Netzmodelle	82
1.10.1 Netze ohne Rückkopplung	83
1.10.1.1 ADALINE.....	83
1.10.1.2 MADALINE.....	84
1.10.2 Netze mit Rückkopplung.....	85
1.10.2.1 Bidirektionaler assoziativer Speicher.....	85
1.10.2.2 Hopfield-Netze	87
1.10.2.3 Selbstorganisierende und topologieerhaltende Abbildungen	88
1.10.2.3.1 Aufbau und grundlegende Arbeitsweise.....	88
1.10.2.3.2 Lernen bei topologieerhaltenden Abbildungen	90
1.10.2.3.3 Spezialprobleme topologieerhaltender Abbildungen bei der Regressionsanalyse.....	91
1.10.2.4 Counterpropagation Netz	93
1.10.2.5 Linear Vector Quantization Netz.....	94
1.11 Grundlegende Interpretationen Neuronaler Netze	95
1.11.1 Geometrische und logik-orientierte Interpretation.....	95
1.11.2 Neurobiologische Interpretation.....	96
1.11.3 Physikalische Interpretation rückgekoppelter Netze	96
1.11.4 Kognitionswissenschaftliche Interpretation	97
1.11.5 Philosophische Interpretation	98

1.11.6 Vorherrschende Interpretation in den Wirtschaftswissenschaften...	98
2 Vorläufiger Überblick über Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten Neuronaler Netze.....	99
2.1 Eigenschaften.....	99
2.1.1 Lernfähigkeit, Selbstorganisation.....	99
2.1.2 Adaptivität	99
2.1.3 Fehlertoleranz	100
2.1.4 Echtzeit (realtime)-Fähigkeiten	100
2.1.5 Einfache Integration in andere Systeme	101
2.2 Verwendungsmöglichkeiten Neuronaler Netze.....	101
III Typische Anwendungen und Anwendungsmöglichkeiten Neuronaler Netze in den Wirtschaftswissenschaften und Vergleich mit logikbasierten Expertensystem-Ansätzen	107
1 Zeitreihenanalysen von Kurswerten	107
1.1 Zeitreihenanalyse mit typischen künstlich-neuronalen blackbox-Modellen.....	108
1.2 Trendanalyse mit modularen Neuronalen Netzen	112
1.3 Zeitreihenanalyse mit rekurrenten Neuronalen Netzen	117
1.3.1 Betrachtete Kursmuster.....	118
1.3.2 Rekurrente Netzarchitektur bei Kamijo und Tanigawa	119
1.3.3 Repräsentation von Kontextinformation durch die rekurrente Architektur	121
1.4 Autoregressionsuntersuchungen	122
2 Diskriminanz- und Regressionsanalysen	125
2.1 Diskriminanzanalysen mit Neuronalen Netzen	126
2.2 Regressionsanalysen mit Neuronalen Netzen.....	127
2.3 Prognose von Konkursen.....	129
2.4 Kreditwürdigkeitsprognosen.....	132
2.5 Fehlerdiagnose, Qualitätssicherung.....	135
2.6 Bond Rating.....	138
2.6.1 Problemstellung.....	138
2.6.2 Verwendung eines Neuronalen Netzes für das bond rating	139
2.7 Neuronale Netze für die Ermittlung von Absatzfunktionen	140
3 Das Travelling Salesman Problem und weitere kombinatorische Optimierungsprobleme.....	144
4 Materialflußplanung mit Neuronalen Netzen	147
4.1 Grundidee.....	147
4.2 Simultanes Aktivierungs- und Lernverhalten des Netzes	150

5	Simulationsmodelle auf der Basis Neuronaler Netze.....	151
6	Lokale Neuronale Netze zur Konsistenzprüfung von Theorien und Hypothesen.....	153
6.1	Der Ansatz von Thagard.....	153
6.2	Potentielle wirtschaftswissenschaftliche Verwendungsmöglichkeiten.....	157
7	Vergleich der Repräsentationsform logikbasierter Systeme und Neuronaler Netze bei Unvollständigkeit, Unsicherheit und Unschärfe	159
7.1	Darstellung und Kritik arithmetisch-prädikatenlogischer Repräsentation.	159
7.1.1	Elemente, Relationen und Strukturen der Prädikatenlogik.....	160
7.1.2	Inferenzregeln und Inferenzprozeduren	164
7.1.3	Lernverfahren logikbasierter Repräsentationsformen	168
7.1.4	Grenzen der einfachen logikbasierten Systeme.....	170
7.2	Fähigkeiten der Repräsentationsformen zur Behandlung von Unvollständigkeiten	175
7.2.1	Behandlung von Unvollständigkeiten in logikbasierten Repräsentationsformen	175
7.2.1.1	Nichtmonotones Schließen mit klassischen Inferenzregeln	175
7.2.1.2	Nichtmonotones Schließen mit <i>default</i> -Inferenzregeln.....	177
7.2.1.3	Nichtmonotones Schließen mit Modaloperatoren: Autoepistemische Logik.....	177
7.2.1.4	Truth Maintenance Systeme.....	179
7.2.2	Behandlung von Unvollständigkeiten mit Neuronalen Netzen	179
7.3	Repräsentation von Unsicherheit und Unschärfe in logikbasierten Systemen und Neuronalen Netzen	182
7.3.1	Die zentralen Unsicherheits- und Unschärfetheorien	182
7.3.1.1	Wahrscheinlichkeitstheorie.....	183
7.3.1.2	<i>Fuzzy set</i> -Theorie und <i>possibility</i> -Theorie.....	184
7.3.1.3	Dempster-Shafer-Ansatz, Evidenztheorie.....	187
7.3.1.3.1	Grundkonzept	188
7.3.1.3.2	Combination Rule	189
7.3.1.4	Zum Verhältnis der zentralen Theorien.....	190
7.3.1.4.1	Kritik von Cheeseman.....	190
7.3.1.4.2	Weitere Aspekte des Verhältnisses von Wahrscheinlichkeitstheorie und <i>fuzzy set</i> -Theorie.....	193
7.3.1.4.3	Die Evidenztheorie als allgemeinerer Rahmen zur Beschreibung von Unsicherheit	194
7.3.1.4.4	Neuere Untersuchungen zum Verhältnis von Wahrscheinlichkeitstheorie und <i>possibility</i> -Theorie	196
7.3.2	Die Implementierung der Theorien innerhalb logikbasierter Systeme und Neuronaler Netze	201
7.3.2.1	Implementierung innerhalb klassischer Inferenznetze	203

7.3.2.1.1	Wahrscheinlichkeitstheorie	203
7.3.2.1.1.1	<i>Odds-likelihood</i> -Variante der Bayes-Regel	203
7.3.2.1.1.2	Formulierung einer unsicheren Regelbasis	205
7.3.2.1.1.3	Kritik.....	206
7.3.2.1.1.4	Ad hoc-Ansätze für die Berechnung von Wahrscheinlichkeiten	207
7.3.2.1.2	Dempster-Shafer-Ansatz, Evidenztheorie	209
7.3.2.1.2.1	Evidenztheoretisches Schließen	209
7.3.2.1.2.2	Kritik	210
7.3.2.1.3	<i>Fuzzy set</i> -Theorie, <i>possibility</i> -Theorie	211
7.3.2.2	Implementierung innerhalb künstlich-neuronaler <i>feedforward</i> -Netze und die Äquivalenz zu klassischen Inferenznetzen.....	212
7.3.2.2.1	Die Problematik der Interpretation von Aktivitätswerten Neuronaler Netze als Unsicherheits- oder Unschärfemaße..	213
7.3.2.2.2	Wahrscheinlichkeitstheorie	216
7.3.2.2.3	<i>Fuzzy set</i> -Theorie, <i>possibility</i> -Theorie	220
7.3.2.2.3.1	Lernen von Zugehörigkeitsfunktionen	220
7.3.2.2.3.2	<i>Fuzzy set</i> -Inferenzen in einem Neuronalen Netz.....	222
7.3.2.2.4	Die Äquivalenz von künstlich-neuronalen <i>feedforward</i> -Netzen und klassischen Inferenznetzen	227
7.3.2.2.4.1	Äquivalenz der Abbildungsleistung	227
7.3.2.2.4.2	Äquivalenz der Modellierungsprobleme aufgrund monodirektionaler Inferenzprozesse	230
7.3.2.2.5	Vereinfachung des <i>knowledge engineering</i> durch künstlich-neuronale Lernverfahren?	234
7.3.2.2.5.1	<i>Knowledge engineering</i> -Probleme bei wahrscheinlichkeitstheoretischen Expertensystemen.....	235
7.3.2.2.5.2	Spezielles <i>knowledge engineering</i> bei <i>fuzzy set</i> -basierten Expertensystemen.....	237
7.3.2.2.6	Adaptivität künstlich-neuronaler Expertensysteme	238
7.3.2.2.7	Folgerung und weitere Vorgehensweise	238
7.3.2.3	Implementierung wahrscheinlichkeitstheoretischer Systeme mit rückgekoppelten Neuronalen Netzen	239
7.3.2.3.1	Wahrscheinlichkeiten in rückgekoppelten Neuronalen Netzen.....	239
7.3.2.3.2	Lernen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen in rückgekoppelten Neuronalen Netzen.....	242
7.3.2.3.3	Rückgekoppelte Neuronale Netze zur Konstruktion von Entscheidungsunterstützenden Systemen?.....	244
7.3.2.3.4	Rückgekoppelte Neuronale Netze zur Konstruktion exploratorischer oder konfirmatorischer Analysesysteme?	245

7.3.3 Implementierung wahrscheinlichkeitstheoretischer Systeme mit speziellen probabilistischen Netzen, semantischer Vergleich mit rückgekoppelten Neuronalen Netzen.....	246
7.3.3.1 Aufbau Bayes'scher Netzwerke.....	246
7.3.3.2 Propagierungsprozeß.....	249
7.3.3.3 Vergleich mit probabilistischen Neuronalen Netzen.....	254
IV Kritik von Anwendungen Neuronaler Netze in den Wirtschaftswissenschaften.....	257
1 Weitere Vorgehensweise.....	257
2 Systematische Beurteilung und Kritik künstlich-neuronaler Repräsentationsformen und Modellierungsansätze	258
2.1 Verteilte künstlich-neuronale Repräsentation.....	260
2.1.1 Vorläufige Interpretation	260
2.1.2 Implikationen für die Modellierung und Erkenntnisgewinnung.....	261
2.1.2.1 Grenzen bisheriger Interpretationsmöglichkeiten.....	261
2.1.2.2 Erkenntnisgewinnung über <i>blackbox</i> -Modelle.....	262
2.1.3 Test und Evaluierung der Abbildungsleistung Neuronaler Netze.....	264
2.1.3.1 Test der Leistung Neuronaler Netze mittels des Bestimmtheitsmaßes und statistischer Fehlermaße	265
2.1.3.1.1 Bestimmtheitsmaß	265
2.1.3.1.2 Klassische Fehlermaße.....	267
2.1.3.1.3 Mittlerer quadratischer Fehler (MSE), absolute und prozentuale Fehler.....	268
2.1.3.1.4 Quote korrekter Klassifikationen (Klassifikationsrate).....	270
2.1.3.2 Spezifischere Testmaße, Receiver Operating Characteristic Curve	271
2.1.3.3 Übernahme von Testgrößen des Information Retrieval: <i>recall</i> und <i>precision</i>	273
2.1.4 Notwendigkeit konzeptioneller Interpretation Neuronaler Netze.....	274
2.1.5 Möglichkeiten der Konstruktion von Erklärungskomponenten.....	276
2.1.6 Prinzipielle Ansatzpunkte einer konzeptionellen Interpretation Neuronaler Netze.....	278
2.1.6.1 Ansatzpunkt I	278
2.1.6.2 Ansatzpunkt II	281
2.1.6.3 Struktur- und Verhaltensanalysen bei <i>feedforward</i> -Netzen.....	283
2.1.6.4 Aussagekraft von Häufigkeitsverteilungen über Gewichtungen (Gewichtungshistogramme)	284
2.1.6.5 Aussagekraft von Sternendiagrammen ausgewählter Einheiten.....	285
2.1.6.6 Aussagekraft von Mittelwert-Varianz-Korrelation der Gewichtungsverteilungen.....	287

2.1.6.7 Clusteranalysen zur Erklärung des Verhaltens Neuronaler Netze	288
2.1.6.7.1 Clusteranalysen bei unstrukturierten Neuronalen Netzen.....	290
2.1.6.7.2 Konkrete Beispiele für Untersuchungen zur Analyse Neuronaler Netze mittels Clusteranalysen.....	292
2.1.6.7.3 Clusteranalysen bei rekurrenten Neuronalen Netzen	295
2.1.6.7.4 Die Unzulänglichkeit der Ergebnisse von Clusteranalysen zur Extraktion sachlogisch verwertbarer Entscheidungsregeln.....	298
2.1.6.7.4.1 Die Dimensionsabhängigkeit der Ergebnisse.....	298
2.1.6.7.4.2 Die Reihenfolgeabhängigkeit der Ergebnisse.....	305
2.1.6.7.4.3 Die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Initialisierung des Netzes.....	308
2.1.6.7.4.4 Zusammenfassung der bisherigen Analyse	309
2.1.6.7.5 Zusammenhang von konzeptioneller Interpretation künstlich-neuronaler Einheiten und der Komplexität latenter Dispositionen	310
2.1.6.8 Reduktion Neuronaler Netze, Konstruktion minimaler Neuronaler Netze, und die Implikationen für Strukturanalysen.....	313
2.1.6.8.1 Grundlegende Vorgehensweisen	313
2.1.6.8.2 Auswirkungen auf die Generalisierungsleistung.....	315
2.1.6.8.3 Epistemologischer Status minimaler Netzmodelle.....	316
2.1.6.9 Zusammenfassende Einschätzung der Möglichkeiten zur weitergehenden Modellevaluierung bei verteilten Neuronalen Netzen.....	317
2.2 Lokale Neuronale Netze	319
2.2.1 Abgrenzung.....	319
2.2.2 Implikationen für die Modellierung und spezifische Eigenschaften lokaler Neuronaler Netze	320
2.2.2.1 Eigenschaft der Fehlertoleranz bei lokalen Neuronalen Netzen..	321
2.2.2.2 Generalisierungsleistung bei lokalen Neuronalen Netzen.....	324
2.2.2.3 Erklärbarkeit des Verhaltens lokaler Neuronaler Netze	324
2.3 Mischformen der Modellierung mit Neuronalen Netzen: Konfirmatorische und exploratorische Analysen mittels Neuronaler Netze?	325
2.3.1 Abgrenzung und Vorgehensweise bei der Modellierung	325
2.3.2 Analogie zu LISREL und pfadanalytischen Modellen	325
2.3.3 Untersuchung von Hruschka als Beispiel für explizite Modellierungen mit Neuronalen Netzen	330
2.3.4 Künstlich-neuronale Hauptkomponentenrepräsentationen.....	333
2.3.5 Zusammenfassung und offene Probleme	338

V Zusammenfassung der Ergebnisse der Arbeit	341
1 Verteilte und lokale Neuronale Netze, Mischformen der Modellierung.....	341
1.1 Verteilte Neuronale Netze:	341
1.2 Lokale Neuronale Netze:	344
1.3 Vorstrukturierte Neuronale Netze (Mischformen der Modellierung) für exploratorische und konfirmatorische Analysen:	345
2 Neuronale Netze in der Expertensystementwicklung	346
2.1 Die zentralen Problembereiche.....	346
2.2 Fehlende Modellierungseffektivität.....	352
2.3 Radikale Vereinfachung des knowledge engineering durch Neuronale Netze?	352
3 Abschließende Betrachtung.....	353