

## 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