

INHALTSVERZEICHNIS:

| | |
|------------------------------------|------------|
| Abbildungsverzeichnis | XV |
| Tabellenverzeichnis | XIX |
| Abkürzungsverzeichnis | XXI |

KAPITEL I: EINLEITUNG 1

| | |
|--|----------|
| 1 Thematik und Zielsetzung der Arbeit | 1 |
| 2 Aufbau der Arbeit | 4 |

**KAPITEL II: THEORIE UND PRAXIS VON
KÜNSTLICHEN NEURONALEN NETZEN** 7

| | |
|--|----------|
| 1 Konnektionismus und Künstliche Intelligenz | 7 |
| 2 Definition von Künstlichen Neuronalen Netzen | 8 |
| 3 Aufbau und Funktionsweise von Künstlichen Neuronalen Netzen | 9 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1 Grundelemente und deren Organisation in einem Künstlichen Neuronalen Netz | 12 |
| 3.1.1 Die Menge von Verarbeitungseinheiten | 12 |
| 3.1.2 Der Aktivierungszustand der Units | 16 |
| 3.1.3 Die Verbindungsstruktur zwischen den Units | 17 |
| 3.1.4 Die Systemumgebung | 19 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2 Funktionale Zusammenhänge in einem Künstlichen Neuronalen Netz | 20 |
| 3.2.1 Die Propagierungsfunktion | 20 |
| 3.2.2 Die Aktivierungsfunktion | 21 |
| 3.2.3 Die Outputfunktion | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 3.3 Lernen in einem Künstlichen Neuronalen Netz | 24 |
| 3.3.1 Klassifizierung von Lernregeln | 25 |
| 3.3.1.1 Klassifizierung nach der Art der Musterpräsentation | 25 |
| 3.3.1.2 Klassifizierung nach Aufgabe und Zielsetzung des Lernprozesses | 27 |
| 3.3.2 Grundvarianten von Lernregeln | 29 |
| 3.3.2.1 Die Hebb'sche Lernregel | 29 |
| 3.3.2.2 Die Delta-Regel | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.3 Der Backpropagation Algorithmus | 32 |
| 3.3.3.1 Die funktionalen Komponenten | 32 |
| 3.3.3.2 Das Lernproblem | 34 |
| 3.3.3.3 Formale Herleitung | 36 |
| 3.3.3.3.1 Zweistufiges Netz ohne verdeckte Schicht | 41 |
| 3.3.3.3.1.1 Darstellung und Notation | 41 |
| 3.3.3.3.1.2 Die Zielfunktion | 42 |
| 3.3.3.3.1.3 Das Minimierungskalkül | 43 |
| 3.3.3.3.1.4 Die Berechnung der Ableitungen | 44 |
| 3.3.3.3.1.5 Schrittweise Gewichtsanzpassung | 45 |
| 3.3.3.3.2 Dreistufiges Netz mit einer verdeckten Schicht | 46 |
| 3.3.3.3.2.1 Darstellung und Notation | 46 |
| 3.3.3.3.2.2 Die Zielfunktion | 47 |
| 3.3.3.3.2.3 Das Minimierungskalkül | 48 |
| 3.3.3.3.2.4 Die Berechnung der Ableitungen | 49 |
| 3.3.3.3.2.5 Schrittweise Gewichtsanzpassung | 52 |
| 3.3.3.3.3 Mehrstufiges Netz mit mehreren verdeckten Schichten | 54 |
| 3.3.3.3.3.1 Darstellung und Notation | 54 |
| 3.3.3.3.3.2 Die Zielfunktion | 55 |
| 3.3.3.3.3.3 Das Minimierungskalkül | 56 |
| 3.3.3.3.3.4 Die Berechnung der Ableitungen | 57 |
| 3.3.3.3.3.5 Schrittweise Gewichtsanzpassung | 61 |
| 3.3.3.3.4 Zusammenfassender Überblick | 62 |
| 3.3.3.4 Probleme des Backpropagation Algorithmus | 64 |
| 3.3.3.5 Modifikationen des Backpropagation Algorithmus | 66 |
| | |
| 4 Finanzmarktanwendungen Künstlicher Neuronaler Netze zur Analyse und Prognose von ökonomischen Zeitreihen | 67 |
| 4.1 Problemstrukturen finanzanalytischer Anwendungen von Künstlichen Neuronalen Netzen | 67 |
| 4.2 Finanzmarktanwendungen Künstlicher Neuronaler Netze aus modelltheoretischer Sicht | 74 |
| 4.2.1 Das Prognosemodell | 74 |
| 4.2.2 Erfolgsdeterminanten eines Prognosemodells | 75 |
| 4.3 Konkretisierung des Modellbegriffs aus statistischer und neuronaler Sicht | 81 |
| 4.3.1 Das statistische Prognosemodell | 81 |
| 4.3.2 Das neuronale Prognosemodell | 88 |
| 4.3.3 Vergleich der beiden Modellkonzepte | 100 |

| | |
|---|-----|
| 5 Systematische Entwicklungsmethodik zur Generierung von neuronalen Prognosemodellen | 102 |
| 5.1 Data Preprocessing | 105 |
| 5.1.1 Identifikation der unabhängigen Variablen | 105 |
| 5.1.1.1 Ökonomische und statistische Vorauswahl..... | 106 |
| 5.1.1.2 Identifikation von Lag-Strukturen..... | 108 |
| 5.1.1.3 Identifikation von Multikollinearitäten | 108 |
| 5.1.2 Aufbereitung der unabhängigen Variablen..... | 109 |
| 5.1.2.1 Einteilung der Daten in Teilmengen | 109 |
| 5.1.2.2 Festlegung und Durchführung der Transformationen..... | 119 |
| 5.1.2.2.1 Technisch orientierte Aufbereitungsmethoden | 120 |
| 5.1.2.2.2 Finanzanalytisch orientierte Aufbereitungsmethoden..... | 121 |
| 5.2 Model Identification | 128 |
| 5.2.1 Komplexitätseliminierungstechniken | 133 |
| 5.2.1.1 Weight-Pruning | 133 |
| 5.2.1.2 Input-Pruning | 137 |
| 5.2.1.3 Hidden-Merging | 138 |
| 5.2.2 Komplexitätsregulierungstechniken | 138 |
| 5.2.2.1 Standard-Weight-Decay | 140 |
| 5.2.2.2 Weigend-Weight-Decay..... | 142 |
| 5.2.3 Zusammenfassender Überblick..... | 144 |
| 5.3 Model Estimation..... | 146 |
| 5.4 Model Validation | 149 |
| 5.4.1 Quantitative Prognosebeurteilungskriterien | 151 |
| 5.4.2 Qualitative Prognosebeurteilungskriterien | 156 |
| 5.5 Forecasting..... | 161 |

KAPITEL III: THEORIE UND PRAXIS VON MODERNEN STATISTISCHEN VERFAHREN

| | |
|---|-----|
| 1 Währungstheorien | 164 |
| 1.1 Partialanalytische Ansätze zur Wechselkursbestimmung..... | 165 |
| 1.1.1 Die Kaufkraftparitätentheorie..... | 165 |
| 1.1.1.1 Ökonomischer und theoretischer Kontext..... | 165 |
| 1.1.1.2 Empirische Evidenz | 168 |
| 1.1.2 Die Zinsparitätentheorie | 173 |
| 1.1.2.1 Ökonomischer und theoretischer Kontext..... | 173 |
| 1.1.2.2 Empirische Evidenz | 178 |
| 1.2 Strukturelle Ansätze zur Wechselkursbestimmung | 184 |

| | |
|--|------------|
| 1.2.1 Das Mundell-Fleming-Modell | 185 |
| 1.2.2 Die monetäre Wechselkursstheorie | 189 |
| 1.2.2.1 Ökonomischer und theoretischer Kontext | 189 |
| 1.2.2.1.1 Das „Flexible-Price“-Modell..... | 192 |
| 1.2.2.1.2 Das „Sticky-Price“-Modell..... | 196 |
| 1.2.2.1.3 Das „Real-Interest-Differential“-Modell | 201 |
| 1.2.2.1 Empirische Evidenz | 203 |
| 1.2.3 Portfoliomodelle..... | 207 |
| 1.2.3.1 Ökonomischer und theoretischer Kontext | 207 |
| 1.2.3.2 Empirische Evidenz | 213 |
| 1.3 Zusammenfassung | 216 |
| | |
| 2 Das Konzept der Kointegration..... | 219 |
| 2.1 Einführung | 219 |
| 2.2 Stationäre, integrierte und kointegrierte Zeitreihen..... | 223 |
| 2.3 Statistische Tests auf Kointegration | 230 |
| 2.3.1 Testverfahren | 231 |
| 2.3.1.1 Der Cointegration-Regression-Durbin-Watson-Test..... | 231 |
| 2.3.1.2 Der Dickey-Fuller-Test..... | 234 |
| 2.3.1.3 Der Augmented-Dickey-Fuller-Test..... | 236 |
| 2.3.2 Testablauf..... | 242 |
| 2.4 Kointegration und Fehlerkorrekturmodelle | 243 |
| 2.5 Das zweistufige Verfahren von Engle/Granger..... | 246 |
| | |
| KAPITEL IV: EMPIRISCHE ANWENDUNG: KONZEPTION VON STATISTISCHEN UND NEURONALEN PROGNOSEMODELLEN..... | 251 |
| 1 Gang der Untersuchung | 251 |
| 2 Data Preprocessing | 257 |
| 2.1 Identifikation der unabhängigen Variablen | 257 |
| 2.2 Einteilung der Daten in Teilmengen..... | 259 |
| 2.3 Integrationsgrad des Datenmaterials..... | 260 |
| 3 Model Specification und Model Estimation | 262 |

| | |
|---|------------|
| 3.1 Das statistische Fehlerkorrekturmodell | 263 |
| 3.1.1 Spezifikation und Schätzen des Kointegrationsmodells | 263 |
| 3.1.2 Spezifikation und Schätzen des Fehlerkorrekturmodells | 266 |
| 3.2 Das neuro-statistische Fehlerkorrekturmodell | 275 |
| 3.2.1 Spezifikation und Schätzen des Kointegrationsmodells | 275 |
| 3.2.2 Spezifikation und Schätzen des Fehlerkorrekturmodells | 276 |
| 3.3 Das neuronale Fehlerkorrekturmodell | 285 |
| 3.3.1 Spezifikation und Schätzen des Kointegrationsmodells | 288 |
| 3.3.2 Spezifikation und Schätzen des Fehlerkorrekturmodells | 289 |
| 4 Model Validation | 292 |
| 5 Forecasting | 295 |
| 6 Zusammenfassung der empirischen Ergebnisse | 298 |
| | |
| KAPITEL V: RESÜMEE UND AUSBLICK | 301 |
| | |
| Anhang I: Datenmaterial | 307 |
| Anhang II: Kürzel der Spezifikationstests zur Residuenanalyse mit Literaturverweis | 311 |
| Literaturverzeichnis | 313 |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS:

Abb. II.1: Neuronales Netz mit Input- und Outputvektor 10

Abb. II.2: Struktur eines dreilagigen Neuronalen Netzes 10

Abb. II.3: Querschnitt eines KNN zur Buchstabenerkennung 11

Abb. II.4: Dreidimensionale Ansicht eines KNN zur Buchstabenerkennung 11

Abb. II.5: Natürliches Neuron 13

Abb. II.6: Künstliches Neuron 14

Abb. II.7: Beispiele für Aktivierungsfunktionen 21

Abb. II.8: Funktionale Komponenten eines KNN 23

Abb. II.9: Ablauf eines überwachten Lernprozesses 26

Abb. II.10: Klassifizierung von Lernregeln 29

Abb. II.11: Sigmoide Aktivierungsfunktion 33

Abb. II.12: Fehlergebirge E eines KNN als Funktion der Gewichte w_{11} und w_{21} 35

Abb. II.13: Eindimensionale Fehlerfunktion 38

Abb. II.14: Zweistufiges Netz ohne verdeckte Schicht 41

Abb. II.15: Dreistufiges Netz mit einer verdeckten Schicht 47

Abb. II.16: Mehrstufiges Netz mit mehreren verdeckten Schichten 54

Abb. II.17: Probleme beim Gradientenabstiegsverfahren
 (a) Lokales Minimum im Fehlergebirge
 (b) Oszillation in engen Tälern 65

Abb. II.18: Objekte, Ziele, Methoden und Informationsbasis der Finanzanalyse 68

Abb. II.19: Komplexität finanzanalytischer Problemstellungen 76

Abb. II.20: Das Dilemma des Overlearning/Overfitting 78

Abb. II.21: Grundstruktur eines neuronalen Prognosemodells 89

Abb. II.22: Das einfache lineare Regressionsmodell als Neuronales Netz 92

Abb. II.23: Output eines Neuronalen Netzes mit linearer Outputfunktion 93

Abb. II.24: Output eines Neuronalen Netzes mit sigmoider Outputfunktion 95

Abb. II.25: Funktionalität eines Backpropagation-Netzwerkes 98

Abb. II.26: Outputkomponenten eines M -schichtigen Backpropagation-Netzes 99

Abb. II.27: Positionierung von KNN innerhalb der Ökonometrie 102

Abb. II.28: Der iterative neuronale Prognosemodellbildungsprozeß 104

Abb. II.29: Komponenten der Datenaufbereitung für KNN 110

Abb. II.30: Aufteilung der Datenmengen bei KNN-Prognosen 110

Abb. II.31: Fehlerverhalten in Trainings- und Validierungsmenge 112

Abb. II.32: Schema des Rollierenden Lernalgorithmus 119

Abb. II.33: Erweitertes Standardnetzwerk mit linearen und nichtlinearen
 Verbindungen 130

Abb. II.34: Optimierungswerkzeuge zur Bestimmung der Netzstruktur 132

Abb. II.35: Höhe der Gewichtsbestrafung beim Standard-Weight-Decay 141

| | | |
|--------------|---|-----|
| Abb. II.36: | Höhe der Gewichtsbestrafung beim Weigend-Weight-Decay | 143 |
| Abb. II.37: | Probleme des Backpropagation Algorithmus bei suboptimaler Lernrate | |
| | (a) Überspringen des globalen Minimums | |
| | (b) Oszillation in einem lokalen Minimum | |
| | (c) Oszillation an flachen Plateaus | 147 |
| Abb. III.1: | Grobe Systematisierung von Wechselkurstheorien | 164 |
| Abb. III.2: | Empirischer Sachverhalt zur absoluten Kaufkraftparitätentheorie..... | 170 |
| Abb. III.3: | Empirischer Sachverhalt zur relativen Kaufkraftparitätentheorie | 170 |
| Abb. III.4: | Wechselkurs DM/US-\$ und Inflationsdifferenz Deutschland-USA | 172 |
| Abb. III.5: | Lineare Regression zwischen Swapsatz und Zinsdifferential BRD-USA | 179 |
| Abb. III.6: | Drei-Monate-Terminkurs und korrespondierender Kassakurs DM/US-\$ | 181 |
| Abb. III.7: | Prognosefehler der Regression zur Ungedeckten Zinsparität..... | 182 |
| Abb. III.8: | Partielle und strukturelle Wechselkurstheorien..... | 185 |
| Abb. III.9: | Tatsächlicher und approximierter DM/US-\$-Wechselkurs durch das Flexible-/Sticky-Price-Modell und das Real-Interest-Differen- tial-Modell..... | 206 |
| Abb. III.10: | Tatsächlicher und approximierter DM/US-\$-Wechselkurs durch Portfoliomodelle..... | 215 |
| Abb. III.11: | Integrierte und kointegrierte Zeitreihen..... | 220 |
| Abb. III.12: | Stationäre Zeitreihen | 221 |
| Abb. IV.1: | Komponenten eines Fehlerkorrekturmodells | 252 |
| Abb. IV.2: | Einteilung der Daten in Teilmengen | 259 |
| Abb. IV.3: | Tatsächlicher und approximierter DM/US-\$-Wechselkurs mit Residuenabweichung des statistischen Kointegrationsmodells | 265 |
| Abb. IV.4: | Ergebnisse des CUSUM- und CUSUMSQ-Tests für den restringierten und unrestringierten Fehlerkorrekturansatz..... | 274 |
| Abb. IV.5: | Tatsächliche und approximierte Log-Differenzen des DM/US-\$- Wechselkurses nach restringiertem und unrestringiertem Fehler- korrekturansatz | 275 |
| Abb. IV.6: | Ausgangssituation für die Entwicklung des neuro-statistischen Fehlerkorrekturmodells | 277 |
| Abb. IV.7: | Variabilität der Netzperformance bei Variation von Lernzyklenzahl und Lernrate im restringierten und unrestringierten Ansatz..... | 283 |

| | | |
|--------------------|--|------------|
| Abb. IV.8: | Variabilität der Netzperformance bei Variation von Momentum und Weight-Decay-Faktor im restringierten und unrestringierten Ansatz | 284 |
| Abb. IV.9: | Tatsächlicher und approximierter DM/US-\$-Wechselkurs mit Residuenabweichung des neuronalen Kointegrationsmodells | 288 |
| Abb. IV.10: | Topologie und Modellvariablen des neuronalen Fehlerkorrekturmodells | 291 |
| Abb. IV.11: | Verlauf der Handelssignallinie des besten Fehlerkorrekturmodells im In-Sample-Bereich | 295 |
| Abb. IV.12: | Änderungsrate des DM/US-\$-Wechselkurses und Prognose der Fehlerkorrekturmodellvarianten im Out-of-Sample-Bereich | 296 |
| Abb. IV.13: | Absolute Prognosefehler der einzelnen Fehlerkorrekturmodellvarianten | 297 |
| Abb. IV.14: | Verlauf der Handelssignallinie des besten Fehlerkorrekturmodells im Out-of-Sample-Bereich | 298 |

TABELLENVERZEICHNIS:

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tab. II.1: | Der Backpropagation Algorithmus für verschiedene Netztopologien | 65 |
| Tab. II.2: | Vergleich der Terminologien im neuronalen und statistischen Modell..... | 106 |
| Tab. II.3: | Finanzanalytisch orientierte Transformationsmethoden | 134 |
| Tab. II.4: | Überblick über neuronale Optimierungsmethoden zur Komplexitätsreduktion in einem KNN | 154 |
| Tab. II.5: | Quantitative Prognosefehlermaße | 161 |
| Tab. II.6: | Klassifikation von Wendepunktfehlern..... | 166 |
| Tab. II.7: | B&H-/B&S-Wert-Szenarien und ihre ökonomische Interpretation | 170 |
| Tab. III.1: | Schätzergebnisse zur Kaufkraftparitätentheorie..... | 178 |
| Tab. III.2: | Parameterrestriktionen zu Modellvarianten der monetären Theorie..... | 215 |
| Tab. III.3: | Schätzergebnisse zur monetären Wechselkursstheorie..... | 217 |
| Tab. III.4: | Schätzergebnisse zu den Portfoliomodellen..... | 227 |
| Tab. IV.1: | Rohdatenset nach ökonomischer und statistischer Vorselektion | 272 |
| Tab. IV.2: | Ergebnisse der ADF-Tests auf Stationarität der Inputvariablen..... | 275 |
| Tab. IV.3: | Ergebnisse der ADF-Tests auf Stationarität der Residuen des statistischen Kointegrationsmodells..... | 279 |
| Tab. IV.4: | Korrelation verzögerter Lag-Differenzen zur Zielgröße und Ergebnisse des Granger-Kausalitätstests..... | 282 |
| Tab. IV.5: | Schätzergebnisse statistischer Fehlerkorrekturmodelle..... | 284 |
| Tab. IV.6: | Residuenanalyse statistischer Fehlerkorrekturmodelle | 285 |
| Tab. IV.7: | Ergebnisse der ADF-Tests auf Stationarität der Residuen des neuronalen Kointegrationsmodells | 304 |
| Tab. IV.8: | Relevanzfaktoren der Inputs des neuronalen Fehlerkorrekturmodells | 305 |
| Tab. IV.9: | In-Sample-Validation der einzelnen Fehlerkorrekturmodelle..... | 307 |
| Tab. IV.10: | Out-of-Sample-Validation der einzelnen Fehlerkorrekturmodelle | 311 |