Janette F. Walde

Design Künstlicher Neuronaler Netze

WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFT

Janette F. Walde

Design Künstlicher Neuronaler Netze

Ein Leitfaden zur effizienten Handhabung
mehrschichtiger Perzeptrone

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Hans Werner Holub

Deutscher Universitäts-Verlag

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Dissertation Universität Innsbruck, 2000

1. Auflage März 2005

Alle Rechte vorbehalten

© Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2005

Lektorat: Ute Wrasmann / Britta Göhrisch-Radmacher

Der Deutsche Universitäts-Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.
www.duv.de

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

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.

Umschlaggestaltung: Regine Zimmer, Dipl.-Designerin, Frankfurt/Main

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

ISBN-13: 978-3-8244-0842-9

e-ISBN-13: 978-3-322-81211-7

DOI: 10.1007/978-3-322-81211-7

Geleitwort

Künstliche Neuronale Netze (KNN) sind, wie so viele Methoden in der Ökonomik, eine Anleihe bei den Naturwissenschaften. Meiner Meinung nach handelt es sich dieses Mal aber um den „Import“ einer außerordentlich interessanten Methode für die Ökonomen, vor allem für die Mustererkennung im weiteren Sinne. Dabei sind allerdings einige wichtige Anwendungsfragen noch ungeklärt, und wie bei allen neuen Instrumenten wird zuweilen auch Missbrauch damit getrieben.

Die Arbeit von Janette Walde setzt genau an diesen beiden Punkten an. Sie besteht inhaltlich aus zwei ineinander übergehenden Teilen:

- einmal einer übersichtlichen und kompetenten Darstellung bereits existierender Erkenntnisse zu Künstlichen Neuronalen Netzen,
- zum anderen der Entwicklung eigener weiterführender Forschungsergebnisse.

Beim ersten Punkt fällt vor allem die immense (man ist bei aller Vorsicht sogar geneigt zu sagen umfassende) Literaturkenntnis der Verfasserin auf. Dabei sind ersichtlich auch die Erkenntnisse mehrerer einschlägiger internationaler Konferenzen eingegangen.

Die wichtigen weiterführenden Forschungsergebnisse sind unter anderem:

- Überlegungen zur Mindestgröße der benötigten Stichproben,
- Überlegungen und Darstellung der Sättigungsmengen (mit besonderer Berücksichtigung ökonomischer Gegebenheiten),
- ausgiebige Vergleiche mit konventionellen linearen statistischen Verfahren (Diskriminanzanalyse, Regressionsanalyse etc.),
- Gegenüberstellung von Software - Paketen (SENN, Neural Connection, Neuframe) hinsichtlich Effizienz, Geschwindigkeit und Flexibilität,
- eine Analyse der Bedeutung gewählter Fehlerfunktionen,
- der Vergleich zweier Netzwerkarchitekturen für Klassifikationsfragen,
- der Nachweis von Instabilitäten der Performancekennzahlen, vor allem bei kleinen Stichprobengrößen,

- die Konsequenzen der Stichprobengröße auf die Erreichbarkeit und Qualität der Ergebnisse und
- eine Diskussion der Problematik „verborgener“ (hidden) Neuronen.

Zusammenfassend kann man ohne Übertreibung feststellen, dass die vorliegende Arbeit mit Hilfe von analytischen und statistischen Methoden (anhand von realen und künstlichen Datensätzen) einige wichtige, bislang ungeklärte Fragen bezüglich KNN aufklärt und löst. Das wichtigste Ergebnis für Ökonomen ist sicherlich, dass (wie leider oft bei ökonomischen Anwendungen vorherrschend) kleine Datensätze nicht hinreichend sind, um die Vorzüge der nichtlinearen und nichtparametrischen KNN nutzen zu können. Oft sind hier sogar, wie die Verfasserin gezeigt hat, konventionelle statistische Verfahren überlegen.

Die Arbeit ist sehr gut lesbar und sie sollte zur Pflichtlektüre aller, an diesem neuen Instrument interessierten, Ökonomen gehören.

O. Univ.-Prof. Dr. Hans Werner Holub

Vorwort

„Annas Gesetz hieß: zuerst alles von innen nach außen, dann kopfüber-kopfunter, dann von hinten nach vorn, von rechts nach links. Und zum Schluss besah man sich das Ergebnis, und siehe da, es war ... “

Fynn, Hallo Mister Gott, hier spricht Anna

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Stärken und Schwächen von Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN), insbesondere von den in der Praxis am häufigsten eingesetzten mehrschichtigen Perzeptronen, und versucht, die Fixierung der zahlreichen Freiheitsgrade (Anzahl der verborgenen Neuronen, Auswahl der Fehlerfunktion usw.) bei der Ausgestaltung der KNN von einer künstlerischen auf eine handwerkliche Basis zu stellen. Für dieses Unterfangen wird neben künstlich generierten Datensätzen auch ein realer Datensatz mit vollständigen Informationen zu mehr als 185.000 Beobachtungseinheiten verwendet. Dieser enorme Umfang sowie die Problemstellung der Klassifikation sind in idealer Weise dazu geeignet, die Chancen und Grenzen dieses Instrumentariums auszuloten. Neben dem Performancevergleich mit klassischen Verfahren werden mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen die wichtigen Inputvariablen identifiziert und die aufgezeigten nichtlinearen Zusammenhänge auf ihre substanzwissenschaftliche Fundierung überprüft. Es werden Sättigungskurven erhoben und Sensitivitäten der Performancekennzahlen bezüglich Stichprobenauswahl im Vergleich zu klassischen Verfahren gemessen. Verschiedenste Einstellungen der Freiheitsgrade werden auf ihre Effizienz geprüft. Der eigentliche Vorzug der KNN - die bescheidene Vorabspezifizierung des funktionalen Zusammenhanges - geht, wie alle Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, auf Kosten eines enormen Datenhungers, der in den meisten praktischen Anwendungen in der Ökonomie nicht gestillt werden kann.

Die vorliegende Arbeit wurde im Juli 2000 von der sozial- und wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck als Dissertation angenommen. Sie

entstand während meiner Tätigkeit als Universitätsassistentin am Institut für Statistik. Meinem wissenschaftlichen Lehrer, Herrn O. Univ.-Prof. Dr. Hans Werner Holub, danke ich für die Bereitstellung des Themas, seine Betreuung sowie sein reges Interesse am Fortgang der Arbeit. Herrn O. Univ.-Prof. Dr. Friedrich Roithmayr gebührt der Dank für die Übernahme des Zweitgutachtens. Für die zahlreichen Diskussionen und Anregungen sowie für die kritische Auseinandersetzung mit den Inhalten dieser Arbeit möchte ich ganz herzlich Herrn A. Univ.-Prof. Dr. Gottfried Tappeiner danken.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei Frau A. Univ.-Prof. Dr. Ulrike Tappeiner und Herrn Dr. Erich Tasser vom Institut für Botanik, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, bedanken für die Zurverfügungstellung des Datensatzes und für ihre intensive Zusammenarbeit. Für die Bereitstellung der Software *SENN*, mit der das Gros des Analyseteils berechnet wurde, möchte ich der Firma Siemens München, insbesondere Herrn Dr. Hans-Georg Zimmermann und Herrn Dr. Christoph Tietz, besonders danken.

Ein Dissertationsprojekt steht und fällt natürlich nicht nur mit dem wissenschaftlichen Umfeld, sondern mit den Menschen, die mich auf diesem Weg begleitet, unterstützt und immer wieder motiviert haben. Darum geht mein innigster Dank an meine Mutter (deren Glaube an mich eine wichtige Konstante in meinem Leben ist) und an meinen Ehemann Stefan (ohne den alles nichts wäre).

Janette F. Walde

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XV
Symbolverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
1 Einleitung	1
2 Das Mehrschichtige Perzeptron (<i>MLP</i>)	9
2.1 Dateninput	10
2.2 Verborgene Schicht	13
2.3 Outputschicht	15
2.4 Gewichte	18
2.4.1 Das Trainingsproblem	18
2.4.2 Die Validierungsmenge	22
2.4.3 Der Backpropagation Algorithmus	24
2.4.4 Der Lernalgorithmus	28
3 Standardprobleme beim Einsatz vom <i>MLP</i>	33
3.1 Aktivierungsfunktion	33
3.2 Selektion und Transformation von Inputvariablen	36
3.3 Anzahl der verborgenen Neuronen	38
3.4 Netzarchitektur	39
3.5 Fehlerfunktion	41
3.6 Stichprobengröße	46
3.7 Variabilität in den Performancekennzahlen	47

4	KNN-Software	49
4.1	Software Vergleich bezüglich der Flexibilität	49
4.2	Leistungsfähigkeit der Programme	55
4.2.1	Höhe der Trefferquote	55
4.2.2	Schnelligkeit des Trainingsprozesses	56
5	Klassifikation mit Hilfe des Regressionsansatzes	61
5.1	Datensatz	62
5.2	Festlegung des nichtlinearen Ansatzes	66
5.2.1	Topologie und Netzspezifikationen	66
5.2.2	Multikollinearität	67
5.2.3	Lernstrategie	67
5.3	Leistungsfähigkeit	68
5.3.1	Trefferquote	68
5.3.2	Interpretation der Ergebnisse	71
5.4	Einfluss der Stichprobengröße	76
5.4.1	Bestimmung der optimalen Anzahl verborgener Neuronen	77
5.4.2	Sättigungskurve	80
5.5	Stabilität der Performancekennzahl	82
5.5.1	Instabilität aufgrund der Gewichtsinitialisierung	82
5.5.2	Instabilität aufgrund der Wahl der Stichprobe	83
5.6	Einfluss der Fehlerfunktion	86
6	Klassifikation mit Hilfe des wahrscheinlichkeitsbasierten Ansatzes	89
6.1	Festlegung des nichtlinearen Ansatzes	89
6.2	Leistungsfähigkeit	91
6.2.1	Trefferquote	91
6.2.2	Interpretation der Ergebnisse	93
6.3	Einfluss der Stichprobengröße	100
6.3.1	Bestimmung der optimalen Anzahl verborgener Neuronen	100

Inhaltsverzeichnis	XI
6.3.2 Sättigungskurve	104
6.4 Stabilität der Performancekennzahl	106
6.4.1 Instabilität aufgrund der Gewichtsinitialisierung	106
6.4.2 Instabilität aufgrund der Wahl der Stichprobe	107
6.5 Einfluss der Fehlerfunktion	109
6.6 Abschließender Vergleich der beiden <i>MLP</i> Ansätze	110
7 Optimale Anzahl der verborgenen Neuronen	113
7.1 Hypothesen	114
7.2 Überprüfung mittels realem Datensatz	116
7.3 Künstliche Datensätze	118
7.3.1 Beschreibung der Datensätze	118
7.3.2 Ergebnisse	121
8 Schlussfolgerungen	125
Anhang A: Charakterisierung der Pflanzengesellschaften im Untersuchungsgebiet	133
Anhang B: Netzwerk Informationskriterium (<i>NIC</i>)	144
Literaturverzeichnis	145

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Graphische Darstellung eines künstlichen Neurons. _____	2
Abbildung 1-2: Mögliche Darstellung der AND-Funktion mittels eines Neurons. _____	2
Abbildung 1-3: Linear separables Problem und nicht linear separables Problem. _____	3
Abbildung 1-4: Mehrschichtiges Neuronales Netz. _____	4
Abbildung 1-5: Mögliche Darstellung der XOR-Funktion mit Hilfe eines Netzwerkes. _____	4
Abbildung 2-1: Vierschichtiges Perzeptron. _____	9
Abbildung 2-2: Vollständige graphische Darstellung des Inputneurons i . _____	10
Abbildung 2-3: Tangens Hyperbolicus Funktion und Logistische Funktion. _____	13
Abbildung 2-4: Vollständige mathematische Beschreibung des verborgenen Neurons j . _____	14
Abbildung 2-5: Netzwerk mit mehreren Inputclustern. _____	15
Abbildung 2-6: Elman Architektur und Jordan Architektur. _____	16
Abbildung 2-7: Graphische Darstellung der Fehlerfunktion. _____	19
Abbildung 2-8: Darstellung des Bias und der Varianz eines Modells. _____	22
Abbildung 2-9: Kontrolle des Overfittings. _____	23
Abbildung 2-10: Informationsfluss und Fehlerausbreitung in einem Netz. _____	26
Abbildung 2-11: Konvergenzeigenschaften der drei vorgestellten Lernverfahren. _____	29
Abbildung 3-1: Zweidimensionale achsensymmetrische Gaußfunktion. _____	34
Abbildung 3-2: Globale Struktur und Lokale Struktur. _____	37
Abbildung 3-3: Netzwerk mit zusätzlicher linearer Struktur. _____	41
Abbildung 5-1: Geographische Lage des Passeier Tals. _____	63
Abbildung 5-2: Geographische Lage der Vegetationsklassen im Untersuchungsgebiet. _____	63
Abbildung 5-3: Vergleich der drei Fehlerfunktionen. _____	71
Abbildung 5-4: Ziehen der Stichproben und Wahl der Generalisierungsgröße G_2 . _____	77
Abbildung 5-5: Sättigungskurven der beiden Verfahren (Regressionsansatz). _____	82
Abbildung 5-6: Stabilität der Performancekennzahl in Abhängigkeit von verschiedenen Stichproben gleicher Größe für die Diskriminanzanalyse. _____	84
Abbildung 5-7: Stabilität der Performancekennzahl in Abhängigkeit von verschiedenen Stichproben gleicher Größe für das mehrschichtige Perzeptron. _____	85

Abbildung 6-1: Sättigungskurven der beiden Verfahren (wahrscheinlichkeitsbasierter Ansatz).	104
Abbildung 6-2: Stabilität der Performancekennzahl in Abhängigkeit von verschiedenen Stichproben gleicher Größe für die Diskriminanzanalyse.	108
Abbildung 6-3: Stabilität der Performance in Abhängigkeit von verschiedenen Stichproben gleicher Größe für den wahrscheinlichkeitsbasierten Ansatz.	109
Abbildung 7-1: Abhängigkeit der Trefferquote von der Anzahl verborgener Neuronen.	113
Abbildung 7-2: Graphische Darstellung des ersten künstlich generierten Datensatzes.	119
Abbildung 7-3: Graphische Darstellung des zweiten künstlich generierten Datensatzes.	120
Abbildung 7-4: Graphische Darstellung des dritten künstlich generierten Datensatzes.	120
Abbildung 7-5: Darstellung des positiven Zusammenhangs zwischen der optimalen Zahl an verborgenen Neuronen und der erkannten Nichtlinearität.	124

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Vergleich der Flexibilität von <i>SENN</i> , Neural Connection und Neuframe.	54
Tabelle 4-2: Auflistung der Anwendungsbeispiele für den Softwarevergleich.	57
Tabelle 4-3: Leistungsvergleich der drei Softwareprodukte für $n = 1.000$.	57
Tabelle 4-4: Leistungsvergleich der drei Softwareprodukte für $n = 100$.	59
Tabelle 4-5: Leistungsvergleich der drei Softwareprodukte für $n = 10.000$.	60
Tabelle 5-1: Häufigkeitsverteilung der Vegetationsklassen.	64
Tabelle 5-2: Einflussfaktoren auf die Vegetationsmuster.	65
Tabelle 5-3: Multikollinearitätsdiagnose der unabhängigen Variablen.	67
Tabelle 5-4: Vergleich der Trefferquote der Diskriminanzanalyse und des MLPs.	72
Tabelle 5-5: Zentroidenvergleich für die Klassen 5 und 11.	74
Tabelle 5-6: Zentroidenvergleich für die Klassen 9 und 11.	75
Tabelle 5-7: Zentroidenvergleich für die Klassen 10 und 11.	75
Tabelle 5-8: Trefferquote bei $n = 100$ abhängig von der Zahl verborgener Neuronen.	78
Tabelle 5-9: Trefferquote bei $n = 250$ abhängig von der Zahl verborgener Neuronen.	78
Tabelle 5-10: Trefferquote bei $n = 500$ abhängig von der Zahl verborgener Neuronen.	79
Tabelle 5-11: Trefferquote bei $n = 1.000$ abhängig von der Zahl verborgener Neuronen.	79
Tabelle 5-12: Trefferquote bei $n = 1.500$ abhängig von der Zahl verborgener Neuronen.	80
Tabelle 5-13: Instabilität der Trefferquote aufgrund der Gewichtsinitialisierungen.	83
Tabelle 5-14: Ab welcher Stichprobengröße übertraf das Netz signifikant die Trefferquote der Diskriminanzanalyse?	86
Tabelle 5-15: Abhängigkeit der Trefferquote von der gewählten Fehlerfunktion.	87
Tabelle 6-1: Verteilung der nicht eindeutig zugeordneten Beobachtungseinheiten.	91
Tabelle 6-2: Zentroiden/Medoidenvergleich der nicht eindeutig zugeordneten Einheiten.	92
Tabelle 6-3: Vergleich der Trefferquote der Diskriminanzanalyse und des MLPs (wahrscheinlichkeitsbasierter Ansatz) für jede Klasse.	94
Tabelle 6-4: Zentroidenvergleich für die Klassen 5 und 11.	97
Tabelle 6-5: Zentroidenvergleich für die Klassen 9 und 11.	98
Tabelle 6-6: Zentroidenvergleich für die Klassen 10 und 11.	98
Tabelle 6-7: Trefferquote bei $n = 100$ abhängig von der Zahl verborgener Neuronen.	101

Tabelle 6-8: Trefferquote bei $n = 175$ abhängig von der Zahl verborgener Neuronen.	101
Tabelle 6-9: Trefferquote bei $n = 250$ abhängig von der Zahl verborgener Neuronen.	102
Tabelle 6-10: Trefferquote bei $n = 500$ abhängig von der Zahl verborgener Neuronen.	102
Tabelle 6-11: Trefferquote bei $n = 1.000$ abhängig von der Zahl verborgener Neuronen.	103
Tabelle 6-12: Trefferquote bei $n = 1.500$ abhängig von der Zahl verborgener Neuronen.	103
Tabelle 6-13: Instabilität der Trefferquote aufgrund der Gewichtsinitialisierungen.	107
Tabelle 6-14: Abhängigkeit der Trefferquote von der gewählten Fehlerfunktion.	110
Tabelle 6-15: Abschließender Vergleich der beiden Netzwerkarchitekturen.	111
Tabelle 7-1: Abhängigkeit des Anteils der erkannten (Nicht)Linearität von der optimalen Anzahl von verborgenen Neuronen bei $n = 250$.	116
Tabelle 7-2: Abhängigkeit der erkannten Nichtlinearität von der Stichprobengröße und der optimalen Zahl an verborgenen Neuronen.	117
Tabelle 7-3: Trefferquote der Diskriminanzanalyse für jede Stichprobengröße und für alle drei künstlich generierten Datensätze.	121
Tabelle 7-4: Abhängigkeit der optimalen Zahl verborgener Neuronen von der Stichprobengröße und dem Grad der Nichtlinearität für den ersten Datensatz.	121
Tabelle 7-5: Abhängigkeit der optimalen Zahl verborgener Neuronen von der Stichprobengröße und dem Grad der Nichtlinearität für den zweiten Datensatz.	122
Tabelle 7-6: Abhängigkeit der optimalen Zahl verborgener Neuronen von der Stichprobengröße und dem Grad der Nichtlinearität für den dritten Datensatz.	122
Tabelle 7-7: Abhängigkeit der optimalen Zahl verborgener Neuronen vom Grad der abgebildeten Nichtlinearität.	123

Symbolverzeichnis

Für die gesamte Arbeit gilt, dass fett gedruckte Kleinbuchstaben Vektoren und fett gedruckte Großbuchstaben Matrizen kennzeichnen.

$\boldsymbol{w}$	Parameter/Gewichtsvektor
$\boldsymbol{x}$	Inputvektor/Eingangssignale
y	Abhängige Variable
$\hat{y}$	Geschätzter Wert für die abhängige Variable
$f(\boldsymbol{x}, \hat{\boldsymbol{w}})$	Netzoutput
θ	Schwellenwert
I	Anzahl der Inputneuronen
H	Anzahl der verbogenen Neuronen
O	Anzahl der Outputneuronen
ε	Stochastischer Fehlerterm, Rauschen
P	Anzahl der Netzwerkparameter
$\mathfrak{R}$	Menge der reellen Zahlen
T	Menge der Trainingsdaten
$ T $	Zahl der für das Training zur Verfügung stehenden Trainingsdaten
V	Validierungsmenge
G	Generalisierungsmenge
$E(\boldsymbol{w})$	Fehlerfunktion in Abhängigkeit der Parameter $\boldsymbol{w}$
$\boldsymbol{a}^T$	Transponierter Vektor $\boldsymbol{a}$
$ a $	Absolutbetrag des Skalars a
$[a]$	Größtes Ganzes des Skalars a
$\emptyset$	Durchschnitt
p	Prozentsatz
r	Korrelationskoeffizient
r^2	Bestimmtheitsmaß/Determinationskoeffizient
n	Stichprobengröße
$\bar{x}$	Stichprobenmittelwert
$\hat{\sigma}_{\bar{x}}$	Geschätzter Standardfehler der Mittelwerte Verteilung
$\wedge$	Logisches UND
$\vee$	Logisches ODER

$\cong$	Ungefähr
$\forall$	Für alle
$\neg x_i$	Komplementär zu x_i
$\equiv$	Definitionsgleichheit
$\subset$	Echte Teilmenge
$O(h^p)$	Konvergenz der Ordnung p
z	Ausprägung einer Standard-Normalverteilten Zufallsvariable Z
t	Ausprägung einer Student t -verteilte Zufallsvariable
$\ln(x)$	Natürlicher Logarithmus
$\log(x)$	Logarithmus zur Basis 10
$\tanh(x)$	Tangens Hyperbolicus Funktion
$\cosh(x)$	Kosinus Hyperbolicus Funktion
μ	Erwartungswert
σ	Standardabweichung
$f'(x)$	1. Ableitung der Funktion $f(x)$ nach x
$\frac{\partial f}{\partial w_i}$	Partielle Ableitung der Funktion f nach w_i
$\left. \frac{\partial f}{\partial w_i} \right _w$	Partielle Ableitung der Funktion f nach w_i berechnet an der Stelle w
∇E	Gradient der Fehlerfunktion E , Spaltenvektor der partiellen Ableitungen
$\min_x f(x)$	Minimieren der Funktion $f(x)$ nach x
η	Schrittweite bei den Lernalgorithmen
α	Momentum-Term
d	Suchrichtung bei Lernalgorithmen
$E(\hat{\theta})$	Erwartungswert des Schätzers $\hat{\theta}$ für den Parameter θ
$\text{Var}(\hat{\theta})$	Varianz des Schätzers $\hat{\theta}$
$P(z x)$	Bedingte Wahrscheinlichkeit

Abkürzungsverzeichnis

<i>AIC</i>	Akaike Informationskriterium
<i>AND</i>	Boolsche <i>AND</i> -Funktion
<i>ARIMA</i>	Autoregressive, integrierte, moving average Modelle
<i>BFGS</i>	Quasi-Newton-Methode nach Broyden, Fletcher, Goldfarb und Shanno
<i>BP</i>	Backpropagation Algorithmus
<i>CPU</i>	Central processing unit
<i>DA</i>	Diskriminanzanalyse
<i>GIS</i>	Geographisches Informationssystem
<i>HF</i>	Heaviside-Funktion
<i>KMC</i>	<i>K</i> -Means-Clustering Algorithmus
<i>KNN</i>	Künstliche Neuronale Netze
<i>L</i>	Likelihoodfunktion
<i>MLP</i>	Mehrschichtiges Perzeptron
<i>MSE</i>	Mean Squared Error, mittlerer quadratischer Fehler
<i>NC</i>	Neural Connection
<i>NIC</i>	Netzwerk Informationskriterium
<i>NF</i>	Neuframe
<i>PSC</i>	Predictive Stochastic Complexity Kriterium
<i>RBF</i>	Radiale Basisfunktionen
<i>RMSE</i>	Wurzel aus dem <i>MSE</i>
<i>SIC</i>	Schwarz-Informationskriterium
<i>XOR</i>	Boolsche <i>XOR</i> -Funktion