1	Einleitung	1
2	Bottom-up Modelle, komplexe Systeme und naturanaloge Verfahren der KI und KL	9
2.1	Bottom-up, Top-down und KI/KL	9
2.2	Dynamiken komplexer Systeme	17
2.3	Erweiterungen und Anwendungsmöglichkeiten eines universalen Modellschemas	29
2.4	Methodologische Schlussbemerkungen	33
3	Selbstorganisierende Systeme: Zellularautomaten, Boolesche Netze und Algorithm for Neighborhood Generating	37
3.1	Zellularautomaten	38
3.1.1	Allgemeine Darstellung	39
3.1.2	Stochastische Zellularautomaten	48
3.2	Boolesche Netze	51
3.3	Regeln, Topologie und Dynamik – die Ordnungsparameter	56
3.4	Die Generierung topologischer Strukturen durch den <i>Algorithm for Neighborhood Generating</i> (ANG)	71
3.5	Analyse konkreter Modelle	78
3.5.1	Modellierung mit ZA	78
3.5.1.1	Stochastische ZA zur Analyse der Auswirkung unterschiedlicher Impfquoten auf die Influenza-Ausbreitung	79
3.5.1.2	Lösung von Sudoku Rätseln auf der Basis eines ZA	84
3.5.2	Modellierung mit Booleschen Netzen	88
3.5.2.1	Die Konstruktion von Schaltdiagrammen durch Boolesche Netze	89
3.5.2.2	Modellierung der Formularauswahl für die Körperschaftsteuer mit BN	96

3.5.3	Datenstrukturierung durch den Algorithm for Neighborhood Generating	99
3.5.3.1	Vorselektion möglicher Standorte für Windkraftanlagen durch einen ANG	99
3.5.3.2	ANG für die Analyse der Influenza-Erkrankungen in den USA	102
4	Die Modellierung adaptiver Prozesse durch Evolutionäre Algorithmen.	109
4.1	Allgemeine Charakterisierungen	110
4.2	Genetische Algorithmen (GA)	113
4.3	Evolutionsstrategien (ES)	123
4.4	Der Regulator Algorithmus (RGA)	127
4.5	Simulated Annealing (SA)	133
4.6	Analyse konkreter Modelle	139
4.6.1	Entwicklung eines Mehrkomponentenklebers durch eine ES	140
4.6.2	Minimierung der Länge von Kabelnetzen durch einen Genetischen Algorithmus	145
4.6.3	Steuerung einer sozialen Gruppe durch einen GA, eine ES und ein SA im Vergleich	150
4.6.4	Ein Vergleich zwischen ES, GA und RGA	159
4.6.5	Optimierung der Planungen an der Universität Duisburg-Essen durch einen RGA	161
5	Modellierung lernender Systeme durch Neuronale Netze (NN)	173
5.1	Biologische Vorbilder	173
5.2	Grundbegriffe und Grundlogik überwachter lernender Netzwerke	176
5.2.1	Interne Topologie, Funktionen und Schwellenwerte von NN	176
5.2.2	Erweiterungen: Einschichtige und mehrschichtige Modelle	182
5.2.3	Informationsfluss: Feed forward, feed back und rekurrente Netzwerke	186
5.2.4	Lernregeln für überwachter-lernende Netzwerke	187
5.2.5	Ein allgemeines Lernparadigma	192
5.2.6	Exkurs: Graphentheoretische Darstellung neuronaler Netze	194
5.2.7	Informationsverarbeitung in neuronalen Netzen	197
5.3	Maschinelles Lernen: Deep Learning	201
5.3.1	Tiefe Netze (Deep Learning)	201
5.3.2	Convolutional Neural Networks (CNN)	202
5.3.3	Long-Short-Term-Memory (LSTM)	205
5.3.4	Unüberwachtes, semi-überwachtes, selbst-überwachtes und verstärkendes Lernen	208
5.3.4.1	Unüberwachtes Lernen	208
5.3.4.2	Semi-überwachtes und selbst-überwachtes Lernen	210
5.3.4.3	Verstärkendes Lernen (reinforcement learning)	212

5.4	Modelle des selbstorganisierten Lernens	213
5.4.1	Selbstorganisierende Karte.	215
5.4.2	Das Self-Enforcing Network (SEN)	217
5.5	Zusammenfassung: NN-Typen im Vergleich	222
5.6	Analyse konkreter Modelle	227
5.6.1	Optische Erkennung handgeschriebener Zahlen	227
5.6.2	Transfer-Learning: Bildgebende Diagnostik mit einem Residual Network (ResNet)	232
5.6.3	Auswahl von Standorten für Offshore-Windkraftanlagen durch ein SEN	239
5.6.4	Auswirkungen des cue validity factors auf die Analyse der Influenzaausbreitung durch SEN	242
6	Modellierung des Ungenauen: Fuzzy-Mengenlehre und Fuzzy-Logik	249
6.1	Einführung in die Grundbegriffe: Von der Unschärfe der Realität	251
6.2	Ein Begriffsexkurs: Wahrscheinlichkeit und Unschärfe	261
6.3	Variationen der Operatoren und unscharfe Logik	264
6.4	Unschärfe Relationen.	267
6.5	Experten- und Produktionssysteme sowie Defuzzyfizierungen.	270
6.6	Darstellung und Analyse konkreter Modelle	276
6.6.1	Die Modellierung von Wahlverhalten mit einem Fuzzy-ZA	277
6.6.2	Ampelsteuerungen durch ein Fuzzy-System	282
6.6.3	Aufwandschätzung in einer Poker Party mit Fuzzy-Logik	287
7	Hybridisierungen der Basismodelle	293
7.1	Hybride Systeme und Metaparameter	295
7.2	Darstellung von Beispielen	299
7.2.1	Referenztypenbildung durch SEN zur Reduktion der Trainingsdatenmenge in überwacht-lernenden Netzwerken	299
7.2.2	SEN trifft R: shinySENalytics	306
7.2.3	Modellierung und Steuerung von Verkehrsaufkommen auf Autobahnen durch die horizontale Koppelung eines ZA mit einer SOM	309
7.2.4	Die Modellierung kognitiver Ontogenese: Ein horizontal gekoppeltes hybrides System.	317
8	Resümee und Perspektiven	329
	Literatur	333
	Stichwortverzeichnis	343