

1	Künstliche Intelligenz	7
1.1	Eine intelligente Maschine	7
1.2	Intelligenz und künstliche Intelligenz	9
1.3	Knobelaufgaben und symbolverarbeitende KI	15
1.4	Geschichte der KI	17
1.5	Wir und die KI	19

Symbolverarbeitende KI

2	Darstellung und Verarbeitung von Wissen	23
2.1	Wissen und Wissensarten	23
2.2	KI und explizite Wissensdarstellung	25
2.3	Darstellung von Wissen mit Hilfe von Logik	28
2.3.1	Aussagenlogik	29
2.3.2	Prädikatenlogik	46
2.3.3	Logik und PROLOG	60
2.4	Regelbasierte Wissensdarstellung	65
2.4.1	Vorwärtsverkettung	68
2.4.2	Rückwärtsverkettung	71
2.4.3	Regelverarbeitung und PROLOG	73
2.4.4	Business Rules	75
2.5	Semantische Netze und Frames	81
2.5.1	Semantische Netze	81
2.5.2	Frames	83
2.5.3	Wissensnetze	85
2.6	Vages Wissen	87
2.6.1	Unsicheres Wissen	88
2.6.2	Fuzzy-Mengen	97
2.6.3	Fuzzy-Logik	103
2.6.4	Fuzzy-Regler	105

3	Problemlösung mittels Suche	111
3.1	Suche in Graphen	111
3.2	Uninformierte Suche	116
3.3	Heuristische Suche	125
3.3.1	Heuristik des nächsten Nachbarn	130
3.3.2	Bergsteiger-Strategie	131
3.3.3	Bestensuche	132
3.3.4	A*-Suche	133
3.4	Das Rundreiseproblem	137
4	PROLOG	147
4.1	Logisches Programmieren	147
4.1.1	Erste Schritte	147
4.1.2	Ein Beispiel	149
4.1.3	Regeln	151
4.2	PROLOG-Programme	156
4.2.1	Lösungsfindung mittels Backtracking	156
4.2.2	Parameterübergabe mittels Unifikation	158
4.2.3	Interpretation von Programmen	161
4.3	Datentypen und Arithmetik	163
4.3.1	Einfache und zusammengesetzte Datentypen	163
4.3.2	Listen	165
4.3.3	Arithmetik	169
4.4	Steuerung der Abarbeitung	170
4.4.1	Reihenfolge der Klauseln	171
4.4.2	Reihenfolge der Literale im Körper einer Regel	172
4.4.3	Kontrolle des Backtracking	173
4.4.4	Die Negation	176
4.5	Vordefinierte Prädikate	177
4.6	Beispielprogramme	178
4.6.1	Das Einfärben einer Landkarte	178
4.6.2	Die Türme von Hanoi	179
4.6.3	Das Acht-Damen-Problem	181
4.6.4	Das Problem der stabilen Paare	183
4.6.5	Das Einstein-Problem	184

Neuronale Netze

5	Künstliche neuronale Netze	189
5.1	Das künstliche Neuron	191
5.2	Architekturen.....	196
5.3	Arbeitsweise	198
6	Vorwärtsgerichtete Netze	203
6.1	Das Perzeptron.....	203
6.1.1	Die Delta-Regel	205
6.1.2	Musterzuordnungen	208
6.2	Backpropagation-Netze	211
6.2.1	Das Backpropagation-Verfahren	212
6.2.2	Das XOR-Backpropagation-Netz	216
6.2.3	Modifikationen des Backpropagation-Algorithmus	219
6.3	Typische Anwendungen	222
6.3.1	Zeichenerkennung	222
6.3.2	Das Encoder-Decoder-Netz	228
6.3.3	Ein Prognose-Netz.....	229
6.4	Datenvorverarbeitung	233
6.4.1	Verarbeitungsschritte	233
6.4.2	Daten des Kreditvergabe-Beispiels.....	236
6.5	Netzgröße und Optimierungen.....	240
6.5.1	Die Größe der inneren Schicht.....	241
6.5.2	Das Entfernen von Verbindungen.....	243
6.5.3	Genetische Algorithmen.....	244
6.6	Partiell rückgekoppelte Netze.....	247
6.6.1	Jordan-Netze	248
6.6.2	Elman-Netz.....	250
6.7	Convolutional Neural Network	252
7	Wettbewerbslernen	261
7.1	Selbstorganisierende Karte.....	262
7.1.1	Architektur und Arbeitsweise	262
7.1.2	Das Training	265
7.1.3	Visualisierung einer Karte und deren Verhalten.....	268
7.1.4	Eine Lösung des Rundreiseproblems	269

7.2	Neurales Gas	274
7.2.1	Architektur und Arbeitsweise	275
7.2.2	Wachsendes neuronales Gas	277
7.3	Adaptive Resonanz-Theorie.....	280
7.3.1	Das Plastizitäts-Stabilitäts-Dilemma	280
7.3.2	Struktur eines ART-Netzes	281
7.3.3	Das Beispiel Würfelmuster	283
7.3.4	Arbeitsweise	285

8 Autoassoziative Netze289

8.1	Hopfield-Netze.....	289
8.1.1	Arbeitsweise	290
8.1.2	Wiedererkennung von Mustern	292
8.1.3	Energie-Niveau eines Netzes	296
8.2	Lösung von Optimierungsproblemen	297
8.3	Die Boltzmann-Maschine	300

9 Entwicklung neuronaler Netze305

9.1	Datenanalyse-Software	305
9.2	JavaNNS.....	307
9.3	Implementation neuronaler Netze.....	309
9.3.1	Einsatz von Array-Datenstrukturen	310
9.3.2	Der objektorientierte Ansatz	311
9.4	Implementieren mit TensorFlow	321

Literatur329

Index.....332