

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>13</b>
Neu in dieser Auflage .....	13
Überblick über das Buch .....	14
Die Website .....	15
Danksagungen .....	16
Die Autoren .....	18

## Teil I Künstliche Intelligenz

<b>Kapitel 1 Einführung</b>	<b>21</b>
1.1 Was ist KI? .....	22
1.2 Die Grundlagen der künstlichen Intelligenz .....	26
1.3 Die Geschichte der künstlichen Intelligenz .....	39
1.4 Die aktuelle Situation .....	52
<b>Kapitel 2 Intelligente Agenten</b>	<b>59</b>
2.1 Agenten und Umgebungen .....	60
2.2 Gutes Verhalten: das Konzept der Rationalität .....	63
2.3 Die Natur der Umgebungen .....	66
2.4 Die Struktur von Agenten .....	73

## Teil II Problemlösen

<b>Kapitel 3 Problemlösung durch Suchen</b>	<b>97</b>
3.1 Problemlösende Agenten .....	98
3.2 Beispielprobleme .....	104
3.3 Die Suche nach Lösungen .....	110
3.4 Uninformierte Suchstrategien .....	116
3.5 Informierte (heuristische) Suchstrategien .....	128
3.6 Heuristikfunktionen .....	139
<b>Kapitel 4 Über die klassische Suche hinaus</b>	<b>159</b>
4.1 Lokale Suchalgorithmen und Optimierungsprobleme .....	160
4.2 Lokale Suche in stetigen Räumen .....	170
4.3 Suchen mit nichtdeterministischen Aktionen .....	173
4.4 Mit partiellen Beobachtungen suchen .....	179
4.5 Online-Suchagenten und unbekannte Umgebungen .....	189

<b>Kapitel 5</b>	<b>Adversariale Suche</b>	<b>205</b>
5.1	Spiele . . . . .	206
5.2	Optimale Entscheidungen in Spielen . . . . .	208
5.3	Alpha-Beta-Kürzung . . . . .	212
5.4	Unvollständige Echtzeitentscheidungen . . . . .	216
5.5	Stochastische Spiele . . . . .	223
5.6	Teilweise beobachtbare Spiele . . . . .	226
5.7	Hochklassige Spielprogramme . . . . .	232
5.8	Alternative Ansätze . . . . .	235
<b>Kapitel 6</b>	<b>Probleme unter Rand- oder Nebenbedingungen</b>	<b>251</b>
6.1	Probleme unter Rand- und Nebenbedingungen – Definition . . . . .	252
6.2	Beschränkungsweitergabe: Inferenz in CSPs . . . . .	258
6.3	Backtracking-Suche für CSPs . . . . .	265
6.4	Lokale Suche für Probleme unter Rand- und Nebenbedingungen . . . . .	272
6.5	Die Struktur von Problemen . . . . .	274
<b>Teil III</b>	<b>Wissen, Schließen und Planen</b>	
<b>Kapitel 7</b>	<b>Logische Agenten</b>	<b>289</b>
7.1	Wissensbasierte Agenten . . . . .	291
7.2	Die Wumpus-Welt . . . . .	292
7.3	Logik . . . . .	296
7.4	Aussagenlogik: eine sehr einfache Logik . . . . .	300
7.5	Theoreme der Aussagenlogik beweisen . . . . .	305
7.6	Effektive aussagenlogische Inferenz . . . . .	316
7.7	Agenten auf der Basis von Aussagenlogik . . . . .	321
<b>Kapitel 8</b>	<b>Logik erster Stufe – First-Order-Logik</b>	<b>345</b>
8.1	Wiederholung der Repräsentation . . . . .	346
8.2	Syntax und Semantik der Logik erster Stufe . . . . .	352
8.3	Anwendung der Logik erster Stufe . . . . .	363
8.4	Wissensmodellierung in Logik erster Stufe . . . . .	370
<b>Kapitel 9</b>	<b>Inferenz in der Logik erster Stufe</b>	<b>387</b>
9.1	Aussagen- und prädikatenlogische Inferenz . . . . .	388
9.2	Unifikation und Lifting . . . . .	391
9.3	Vorwärtsverkettung . . . . .	396
9.4	Rückwärtsverkettung . . . . .	404
9.5	Resolution . . . . .	413
<b>Kapitel 10</b>	<b>Klassisches Planen</b>	<b>437</b>
10.1	Definition der klassischen Planung . . . . .	438
10.2	Planen mit Zustandsraumsuche . . . . .	445
10.3	Planungsgraphen . . . . .	452
10.4	Andere klassische Planungskonzepte . . . . .	460
10.5	Analyse von Planungsansätzen . . . . .	466

<b>Kapitel 11</b>	<b>Planen und Agieren in der realen Welt</b>	<b>477</b>
11.1	Zeit, Zeitpläne und Ressourcen . . . . .	478
11.2	Hierarchisches Planen . . . . .	482
11.3	Planen und Agieren in nicht deterministischen Domänen . . . . .	493
11.4	Multiagenten-Planen . . . . .	504

<b>Kapitel 12</b>	<b>Wissensrepräsentation</b>	<b>517</b>
12.1	Ontologisches Engineering . . . . .	518
12.2	Kategorien und Objekte . . . . .	521
12.3	Ereignisse . . . . .	527
12.4	Mentale Ereignisse und mentale Objekte . . . . .	532
12.5	Deduktive Systeme für Kategorien . . . . .	535
12.6	Schließen mit Defaultinformation . . . . .	540
12.7	Die Internet-Shopping-Welt . . . . .	545

## Teil IV      Unsicheres Wissen und Schließen

<b>Kapitel 13</b>	<b>Unsicherheit quantifizieren</b>	<b>567</b>
13.1	Handeln unter Unsicherheit . . . . .	568
13.2	Grundlegende Notation für die Wahrscheinlichkeit . . . . .	572
13.3	Inferenz mithilfe vollständig gemeinsamer Verteilungen . . . . .	580
13.4	Unabhängigkeit . . . . .	583
13.5	Die Bayessche Regel und ihre Verwendung . . . . .	585
13.6	Eine erneute Betrachtung der Wumpus-Welt . . . . .	589

<b>Kapitel 14</b>	<b>Probabilistisches Schließen</b>	<b>601</b>
14.1	Wissensrepräsentation in einer unsicheren Domäne . . . . .	602
14.2	Die Semantik Bayesscher Netze . . . . .	605
14.3	Effiziente Repräsentation bedingter Verteilungen . . . . .	610
14.4	Exakte Inferenz in Bayesschen Netzen . . . . .	615
14.5	Annähernde Inferenz in Bayesschen Netzen . . . . .	623
14.6	Relationale Wahrscheinlichkeitsmodelle und Modelle erster Stufe . . . . .	632
14.7	Weitere Ansätze zum unsicheren Schließen . . . . .	640

<b>Kapitel 15</b>	<b>Probabilistisches Schließen über die Zeit</b>	<b>661</b>
15.1	Zeit und Unsicherheit . . . . .	662
15.2	Inferenz in temporalen Modellen . . . . .	666
15.3	Hidden-Markov-Modelle . . . . .	675
15.4	Kalman-Filter . . . . .	681
15.5	Dynamische Bayessche Netze . . . . .	688
15.6	Verfolgen mehrerer Objekte . . . . .	698

<b>Kapitel 16</b>	<b>Einfache Entscheidungen</b>	<b>711</b>
16.1	Glauben und Wünsche unter Unsicherheit kombinieren . . . . .	712
16.2	Grundlagen der Nutzentheorie . . . . .	713
16.3	Nutzenfunktionen . . . . .	717
16.4	Nutzenfunktionen mit Mehrfachattributen . . . . .	725

16.5	Entscheidungsnetze . . . . .	730
16.6	Der Wert von Information. . . . .	732
16.7	Entscheidungstheoretische Expertensysteme . . . . .	737
<b>Kapitel 17 Komplexe Entscheidungen</b>		<b>751</b>
17.1	Sequentielle Entscheidungsprobleme . . . . .	752
17.2	Wert-Iteration . . . . .	759
17.3	Taktik-Iteration . . . . .	764
17.4	Partiell beobachtbare MEPs . . . . .	766
17.5	Entscheidungen mit mehreren Agenten: Spieltheorie . . . . .	775
17.6	Mechanismenentwurf. . . . .	789
<b>Teil V</b>	<b>Lernen</b>	
<b>Kapitel 18 Aus Beispielen lernen</b>		<b>807</b>
18.1	Lernformen . . . . .	809
18.2	Überwachtes Lernen. . . . .	811
18.3	Lernen von Entscheidungsbäumen . . . . .	814
18.4	Die beste Hypothese bewerten und auswählen. . . . .	825
18.5	Theorie des Lernens . . . . .	831
18.6	Regression und Klassifizierung mit linearen Modellen . . . . .	835
18.7	Künstliche neuronale Netze. . . . .	845
18.8	Parameterfreie Modelle . . . . .	856
18.9	Support-Vector-Maschinen. . . . .	863
18.10	Gruppenlernen . . . . .	868
18.11	Maschinelles Lernen in der Praxis. . . . .	873
<b>Kapitel 19 Wissen beim Lernen</b>		<b>889</b>
19.1	Eine logische Formulierung des Lernens . . . . .	890
19.2	Wissen beim Lernen . . . . .	899
19.3	Erklärungsbasiertes Lernen . . . . .	902
19.4	Lernen mit Relevanzinformation . . . . .	907
19.5	Induktive logische Programmierung . . . . .	910
<b>Kapitel 20 Lernen probabilistischer Modelle</b>		<b>927</b>
20.1	Statistisches Lernen . . . . .	928
20.2	Lernen mit vollständigen Daten. . . . .	932
20.3	Lernen mit verborgenen Variablen: der EM-Algorithmus. . . . .	943
<b>Kapitel 21 Verstärkendes (Reinforcement-)Lernen</b>		<b>959</b>
21.1	Einführung . . . . .	960
21.2	Passives verstärkendes Lernen. . . . .	962
21.3	Aktives verstärkendes Lernen . . . . .	969
21.4	Verallgemeinerung beim verstärkenden Lernen . . . . .	975
21.5	Strategiesuche . . . . .	979
21.6	Anwendungen des verstärkenden Lernens . . . . .	981

## **Teil VI      Kommunizieren, Wahrnehmen und Handeln**

<b>Kapitel 22</b>	<b>Verarbeitung natürlicher Sprache</b>	<b>995</b>
22.1	Sprachmodelle . . . . .	996
22.2	Textklassifizierung . . . . .	1001
22.3	Informationsabruf . . . . .	1004
22.4	Informationsextraktion . . . . .	1011
<b>Kapitel 23</b>	<b>Natürliche Sprache für die Kommunikation</b>	<b>1027</b>
23.1	Phrasenstrukturgrammatiken . . . . .	1028
23.2	Syntaktische Analyse (Parsing) . . . . .	1032
23.3	Erweiterte Grammatiken und semantische Interpretation . . . . .	1037
23.4	Maschinelle Übersetzung . . . . .	1047
23.5	Spracherkennung . . . . .	1054
<b>Kapitel 24</b>	<b>Wahrnehmung</b>	<b>1071</b>
24.1	Bildaufbau . . . . .	1073
24.2	Frühe Operationen der Bildverarbeitung . . . . .	1080
24.3	Objekterkennung nach Erscheinung . . . . .	1088
24.4	Rekonstruieren der 3D-Welt . . . . .	1093
24.5	Objekterkennung aus Strukturinformationen . . . . .	1103
24.6	Computervision im Einsatz . . . . .	1107
<b>Kapitel 25</b>	<b>Robotik</b>	<b>1119</b>
25.1	Einführung . . . . .	1120
25.2	Roboter-Hardware . . . . .	1122
25.3	Roboterwahrnehmung . . . . .	1128
25.4	Bewegung planen . . . . .	1136
25.5	Planung unsicherer Bewegungen . . . . .	1143
25.6	Bewegung . . . . .	1147
25.7	Software-Architekturen in der Robotik . . . . .	1154
25.8	Anwendungsbereiche . . . . .	1157

## **Teil VII      Schlussfolgerungen**

<b>Kapitel 26</b>	<b>Philosophische Grundlagen</b>	<b>1175</b>
26.1	Schwache KI: Können Maschinen intelligent handeln? . . . . .	1176
26.2	Starke KI: Können Maschinen wirklich denken? . . . . .	1182
26.3	Ethik und Risiken bei der Entwicklung künstlicher Intelligenz . . . . .	1191
<b>Kapitel 27</b>	<b>KI: Gegenwart und Zukunft</b>	<b>1203</b>
27.1	Agentenkomponenten . . . . .	1204
27.2	Agentenarchitekturen . . . . .	1207
27.3	Gehen wir in die richtige Richtung? . . . . .	1209
27.4	Was passiert, wenn die KI erfolgreich ist? . . . . .	1211

<b>Kapitel A</b>	<b>Mathematischer Hintergrund</b>	<b>1213</b>
A.1	Komplexitätsanalyse und $O()$ -Notation . . . . .	1214
A.2	Vektoren, Matrizen und lineare Algebra . . . . .	1216
A.3	Wahrscheinlichkeitsverteilungen . . . . .	1218
<b>Kapitel B</b>	<b>Hinweise zu Sprachen und Algorithmen</b>	<b>1221</b>
B.1	Sprachen mit Backus-Naur-Form (BNF) definieren . . . . .	1222
B.2	Algorithmen mit Pseudocode beschreiben . . . . .	1223
B.3	Online-Hilfe . . . . .	1224
<b>Bibliografie</b>		<b>1225</b>
<b>Personenregister</b>		<b>1271</b>
<b>Register</b>		<b>1283</b>